

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

VALVONTALENTOKONEEN ELINJAKSONHALLINTA

Pro gradu -tutkielma

Yliluutnantti
Atte Sievälä

Sotatieteiden maisterikurssi 9
Rajavartiolinja

Huhtikuu 2020

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Sotatieteiden maisterikurssi 9	Linja Rajavartiolinja
Tekijä Yliluutnantti Atte Sievälä	
Tutkielman nimi VALVONTALENTOKONEEN ELINJAKSONHALLINTA	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Maanpuolustuskorkeakoulun kirjasto
Aika Huhtikuu 2020	Tekstisivuja 77 Liitesivuja 10
TIIVISTELMÄ <p>Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kartoittaa valvontalentokoneen elinjaksohallintaa osana rajavartiolaitoksen Do228 valvontalentokoneiden suorituskyvyn korvaamisen hanketta. Hankinta on taloudellisesti merkittävä ja hankintavaiheessa on pystyttävä huomioimaan myös koko elinjakson aikana muodostuvat kustannukset. Tämän takia tutkija laati elinjaksokustannuslaskurin elinjaksonhallinnan tueksi.</p> <p>Tutkimuksen päätutkimuskysymyksenä oli, miten valvontalentokoneesta aiheutuvat elinjaksokustannukset tulee huomioida elinjaksonhallinnassa. Vastaavaa tutkimusta ei ole tehty valvontalentokoneen näkökulmasta. Eksploratiivinen tapaustutkimus pyrkii kartoittamaan valvontalentokoneen elinjaksohallinnan teoreettisia näkökulmia ja rakentamaan hanke ryhmälle tietoa varsinaisten päätösten tueksi. Elinjaksohallintaa tarkastellaan tässä tutkimuksessa kokonaisuutena aina ideasta käytöstä poistoon. Elinjaksokustannuslaskenta on merkittävä osa elinjaksonhallintaa. Tutkimuksen keskiössä on käyttö- ja tukivaiheen elinjaksokustannuslaskenta, koska oletuksen mukaan 75 % elinjaksokustannuksista maksetaan tässä vaiheessa. Aineisto kerättiin tapaustutkimukselle hyväksytysti useista lähteistä, kuten kirjallisuudesta, artikkeleista, internetistä, tilastoista ja keskusteluista. Kerätyn aineiston luotettavuus tarkastettiin asiakkohtaisesti. Aineiston analyysissä hyödynnettiin kaavan etsimisen ja selittämisen menetelmää. Analyysin ja tulkinnan avuksi käytettiin elinjaksohallinnan teoriaa standardien, oppikirjojen ja sotilaallisten oppaiden näkökulmista. Analyysin perusteella laadittiin kustannuslaskuri. Kustannuslaskurin luotettavuus tarkastettiin vertaamalla sitä toiseen kaupallisesti merkittävään ilma-aluskustannuslaskuriin.</p> <p>Tutkimustulosten perusteella elinjakson konsepti- ja määrittelyvaiheessa tulee kiinnittää erityistä huomioita suorituskykyä koskevista päätöksistä, koska ne vaikuttavat merkittävästi elinjaksonaikana syntyviin kustannuksiin. Valvontalentokoneen elinjaksonhallinnassa tulee huomioida elinjaksokustannuslaskennan tulokset, jotta mahdolliset riskit ja niiden vaikutukset pystytään minimoimaan. Kustannuslaskennan tulee olla päivitettävissä erilaisissa muutoksissa ja kustannuksia tulisi tarkastella jatkuvasti kaikissa elinjakson vaiheissa. Tutkimuksen laskuria voi oletukset huomioimalla hyödyntää elinjaksokustannusten arvioimisessa.</p> <p>Tässä tutkimuksessa haastettiin ajatus siitä, että elinjaksonhallinta on vai pieni osa hanketta. Sen sijaan tutkimus esittää, että elinjaksonhallinnan tulisi olla keskeinen osa hanketta ja jatkuvaa kaikissa elinjaksonvaiheissa. Elinjaksonhallinnan tulee muodostaa kokonaisuus, jossa selkeillä vaatimuksilla ja suunnitelmilla pystytään ohjaamaan toimintaa. Elinjaksonhallinnassa pitää pystyä tarkastamaan toimintaa ja tekemään päätöksiä parhaimman ja optimaalisimman toiminnan aloittamiseksi ja ylläpitämiseksi.</p>	
AVAINSANAT elinjaksonhallinta, elinjaksokustannuslaskenta, valvontalentokone, rajavartiolaitos, tapaustutkimus	

VALVONTALENTOKONEEN ELINJAKSONHALLINTA

Sisältö

1.	JOHDANTO	1
2.	TUTKIMUSASETELMA	4
2.1.	Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset	4
2.2.	Tutkimusmenetelmät ja rajaus	4
2.3.	Käsitteiden määrittely.....	7
2.4.	Aiempi tutkimus ja lähdemateriaalin esittely	8
2.5.	Luotettavuusvarmistus.....	12
3.	ELINJAKSONHALLINTA.....	14
3.1.	Elinjaksonhallinnan näkökulmat.....	15
3.2.	Elinjaksonhallinnan johtaminen.....	24
3.3.	Elinjaksokustannuslaskenta	26
3.4.	Elinjaksokustannuslaskennan menetelmät.....	27
3.5.	Elinjaksonhallinta tässä tutkimuksessa.....	30
3.5.1.	Konsepti- ja Määrittelyvaihe	31
3.5.2.	Hankintavaihe	34
3.5.3.	Käyttö- ja tukivaihe	36
3.5.4.	Elinjaksopäivitykset, modifikaatiot ja peruskorjaukset.....	37
3.5.5.	Purkaminen	38
3.6.	RAM-analyysimenetelmän hyödyntäminen elinjaksonhallinnassa	39
4.	ELINJAKUSTANNUSLASKURIN KÄYTTÖ ARVIOITAESSA VALVONTALENTOKONEEN ELINJAKSOKUSTANNUKSIA.....	44
4.1.	Henkilöstökustannusten muutos	44
4.2.	Hankintavaiheen kulut.....	48
4.3.	Käyttövaiheen kulut	53
4.4.	Tukivaiheen kulut.....	57
4.5.	Elinjaksopäivitysten, modifikaatioiden ja purkamisen kulut.....	66
4.6.	Elinjaksokustannuslaskurin summaus	66
4.7.	Conklin & deDecker vertailu	69
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET	74
5.1.	Valvontalentokoneen elinjaksokustannusten huomiointi osana rajavartiolaitoksen valvontalentokoneen elinjaksonhallintaa	74
5.2.	Luotettavuus ja hyödynnettävyys.....	76
5.3.	Jatkotutkimustarpeet ja kehitysehdotukset	77

VALVONTALENTOKONEEN ELINJAKSONHALLINTA

1. JOHDANTO

Rajavartiolaitoksella on käytössään kaksi valvontalentokonetta, joiden suorituskyky on merkittävä suuren merialueen ja sen rajojen valvonnan näkökulmasta. Valvontalentokoneella pystytään valvomaan ja toteuttamaan tehtäviä paremmin kuin muilla olemassa olevilla järjestelmillä [1]. Valvontalentokoneen suorituskyvyn suunnittelu ja kehittäminen on merkittävä osa käynnissä olevaa valvontalentokoneen korvaajahanketta. Dornier 228 (Do228) valvontalentokoneiden elinjakso katsotaan olevan päättymässä vuoden 2025 aikana, Valvontalentokoneiden suorituskykyä ollaan korvaamassa ja hankeryhmää johtaa rajavartiolaitoksen esikunta.

Rajavartiolaitos toimii yhtenä sisäisen turvallisuuden viranomaisena. Rajavartiolaitokselle on annettu rajavartiolaissa tehtäviksi rajaturvallisuuden ylläpitäminen, muiden viranomaisten tukeminen ja sotilaallinen maanpuolustus [2]. Meripelastuslain mukaan rajavartiolaitos on johtava meripelastusviranomainen [3]. Merenkulun ympäristönsuojelulaki määrää rajavartiolaitokselle valvontatehtävät päästöjen valvontaan Suomen aluevesillä [4] ja pelastuslaki määrää rajavartiolaitoksen johtavaksi öljy- tai kemikaalionnettomuuden johtajaksi, mikäli onnettomuus tapahtuu merellä [5]. Näihin tehtäviin sidottuna valvontalentokoneen valvontajärjestelmällä saavutetaan sellaista suorituskykyä, jota halutaan ylläpitää myös tulevaisuudessa [1].

Rajavartiolaitoksen strategian 2027 mukaan ilma-alustoiminta jatkuu vaikeissakin olosuhteissa. Strategian mukaan itärajan valvontaa vahvistetaan, varmistetaan kyky turvallisuustehtäviin merialueilla, kehitetään valmiutta toimia kaikissa turvallisuustilanteissa, edistetään Euroopan Unionin (EU) rajaturvallisuutta ja merellistä turvallisuutta sekä kehitetään sisäisiä kumppanuuksia tehokkaamman toiminnan takaamiseksi. Strategisilla teknisillä valinnoilla parannetaan rajavalvontaa ottamalla käyttöön uusia valvontalaitteita niin maa kuin merialueelle, kehitetään tilannekuvaa etenkin merellisissä suur- ja monialaonnettomuuksissa sekä korvataan vanhentuneiden valvontalentokoneiden suorituskyky. Strategian mukaan rajavartiolaitos osallistuu Euroopan Unionin rajaturvallisuusviraston (Frontex) koordinoimiin yhteisoperaatiot Euroopan ulkorajoilla. [6] Eläväraja-työryhmän raportissa muuttuva toimintaympäristö lisää yhtäaikaista tehtäviä myös Suomen merialueella ja tehtävien luonne vaatii jatkuvaa ja nopeampaa reagointia. [7]

Elinjaksonhallinnalla pystytään jo hankkeen alkuvaiheessa arvioimaan suorituskyyvylle syntyviä kustannuksia ja tarvittavia elinjaksopäivityksiä koko elinjakson ajan. Elinjaksokustannusten arviointi on riippuvaista vaaditusta suorituskyyvystä ja haluttujen järjestelmien kyyvykyyksistä. Tämän takia tutkimuksessa keskitytään valvontalentokoneen elinjaksonhallintaan, jotta tutkimuksen hyödynnettävyys osana korvaajahanketta olisi mahdollisimman hyvä.

Valvontalentokoneen suorituskyyvyn korvaajan elinjaksonhallinnan huomioiminen mahdollistaa kokonaistarkastelulla parhaan ja kustannustehokkaimman suorituskyyvyn hankkimisen ottaen huomioon merkittävimmät riskit koko elinjaksonaikana [10]. Koska aiempaa valvontalentokoneen elinjaksonhallinnan tutkimusta ei ole tehty, on tämä tutkimus pilottitutkimus, jolla pyritään havaitsemaan, ideoimaan ja luomaan tutkimuksellinen näkökulma elinjaksonhallinnalle. Tapaustutkimuksen menetelmällä ja aineistonanalysoinnilla luodaan rajavartiolaitokselle käyttökelpoinen malli, miten valvontalentokoneesta aiheutuvat elinjaksokustannukset tulee huomioida osana elinjaksonhallintaa. Tutkimuksessa käsitellään oleellisten kustannusten vaikutuksia elinjaksokustannuksiin ja tutkimuksen edetessä luodaan kustannuslaskuri, jolla kustannusten arvoja muuttamalla voidaan tarkastella vaikutusta elinjaksokustannuksiin.

2. TUTKIMUSASETELMA

2.1. Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Tutkimusongelma on kehittää rajavartiolaitoksen elinjaksonhallintaa. Valtiontalouden tarkastusvirasto julkaisi selvityksen ”Omaisuuksien elinkaaren hallinnan ohjeet” tammikuussa 2019. Selvityksessä elinjaksojen kustannuslaskenta nähdään tärkeänä, jotta omaisuutta hallittaisi tuottavasti talousarviolain mukaisesti. Selvityksessä todettiin, ettei rajavartiolaitoksella ole mallia elinjaksojen kustannusten laskemiseen. [12] Tutkimuksen tilaajana on vartiointilaitoksen lentoteknillinen toimisto. Tutkimuksella on tavoitteena tuottaa rajavartiolaitokselle osaamista elinjaksonhallintaan ja -kustannuslaskemiseen tulevan valvontalentokoneen korvaajahankkeessa. Tutkimus lisää osaamista myös elinjaksojen suunnitteluun liittyen, etenkin rajavartiolaitoksen ilma-alustoiminnan osalta. Tutkimusongelma on ajankohtainen etenkin korvaavan suorituskyvyn osalta, mutta tutkimuksen on tarkoitus tukea myös muiden ilma-alusten elinjaksonhallintaa.

Tutkimuskysymykset ovat syntyneet tarpeesta selvittää elinjaksonhallinnan kokonaisuutta korvaaja hankkeessa. Pää tutkimuskysymys: Miten valvontalentokoneesta aiheutuvat elinjaksojen kustannukset tulee huomioida elinjaksonhallinnassa? Tutkimuksen alakysymyksiksi muodostettiin seuraavat kysymykset: Mitä on elinjaksonhallinta ja elinjaksojen kustannuslaskenta? Mistä muodostuu valvontalentokoneen elinjaksojen kustannukset ja miten niitä voidaan arvioida? Tutkimuskysymykset kuvaavat käsiteltävää ongelmaa aina teorian ymmärtämisestä tapauksen konkreettiseen laskemiseen saakka.

2.2. Tutkimusmenetelmät ja rajaus

Tutkimusmenetelmä on tapaustutkimus (case-tutkimus). Tapaustutkimuksessa keskiössä on tapaus tai tapaukset. Tapauksen määrittelyn perusteella valitaan tutkimuskysymykset, tutkimusasetelmat ja aineistojen analyysimenetelmät. [13] Tapaustutkimus on lähestymistapa ongelmaan, enemmän kuin aineiston keruu- tai analyysimenetelmä. Tapaustutkimuksessa aineisto voidaan kerätä monin eri tavoin ja erilaisista lähteistä. Tapaustutkimuksen aineisto on tyypillisesti laadullista, mutta sen ohella hyödynnetään määrällistä aineistoa. [14] Tutkimus on siten laadullinen tutkimus, jossa määrällisten aineistojen avulla pyritään tukemaan laadullista tarkastelua tapauksen eri näkökulmista.

Tutkimus on luonteeltaan esitutkimus tai pilottitutkimus myöhempiä elinjaksojen kustannuslaskentaa varten. Tämän kaltaista tutkimusta kutsutaan tieteellisesti eksploraatiiviseksi tutkimukseksi eli kartoittavaksi tutkimukseksi. [15] Kartoittavan tutkimuksen perusajatus on löytää uutta tietoa ja tuottaa uusia teoreettisia ideoita. Kehitetyjä ideoita ja hypoteeseja tulee voida

myöhemmässä vaiheessa koetella, joko samassa tapauksessa tai vastaavanlaisissa tapauksissa. [13]

Tapaustutkimuksen keskeiset vaiheet elävät tutkimuksen edetessä ja tapaustutkimukselle on tyypillistä palata aiempaan vaiheeseen ja korjata tehtyjä havaintoja uusien havaintojen perusteella [13]. Keskeiset vaiheet ovat: ”*Tutkimuskysymyksen muotoileminen, tutkimusasetelman jäsentäminen, tapausten määrittely ja valinta, käytettävien teoreettisten näkökulmien ja teoreettisten käsitteiden määrittely, aineiston ja tutkimuskysymysten välisen vuoropuhelun logiikan selvittäminen, aineiston analyysitapojen ja tulkintasääntöjen päättäminen, raportointitavan päättäminen.*” [13]

Tutkimuskysymykset muotoiltiin aiemmin luvussa 2.1. ”tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset”. Tutkimuksen jäsentäminen on kuvattu tässä luvussa. Tapauksen valintaa tulee ohjata ajatus: ”Mitä voimme oppia tästä tapauksesta”. Tapaus tulee rajata kohtuullisen selkeäksi asiaksi muusta kontekstista [13]. Tässä tutkimuksessa tarkasteltava tapaus on valvontalentokoneen elinjaksonhallinta ja elinjaksokustannuslaskenta. Tapauksen tarkempi määrittely tarkentuu tutkimuksen seuraavissa luvuissa. Tutkija muodostaa myös vaihtoehtoisia tapauksia, joilla luotua uutta ideaa koetellaan. Tapausten vaikutusta uuteen ideaan tarkastellaan luvussa 4.6. Tutkimuksen keskeiset käsitteet määritellään myöhemmin tässä luvussa ja keskeiset teoriat esitetään luvussa 3.

Tutkimuksen aineiston ja tutkimuskysymysten välisen vuoropuhelun logiikka perustuu seuraaviin valintoihin. Tapaustutkimuksessa aineiston kerääminen on vapaata, mutta vaatii siten tutkijalta erityistä tarkkuutta hyväksyä aineisto osaksi tutkimusta [13]. Oleellista on siis tutkijan muodostama käsitys kerätystä aineistosta ja sen yhtäläisyyksistä ja eroavaisuuksista. Vuoropuhelun logiikkaa on pyritty selkeyttämään tutkimuksen apukysymysten mukaan ja jaottelemalla sisällysluettelo apukysymysten asettelu mukaiseksi.

Tapaustutkimuksessa on hyväksyttyä täydentää löydettyjä havaintoja omalla ideoinnillaan. Oman ideoinnin, epävirallisten keskusteluiden, tapaamisten, sähköpostien ja havaintojen osalta tapaustutkimuksessa suositellaan pidettäväksi päiväkirjaa luotettavuuden varmistamiseksi. Mikäli kerättyyn aineistoon liittyy luottamuksellisuutta, tulee se ilmoittaa aineiston yhteydessä. [13] Tässä tutkimuksessa kerätty aineisto on osin luottamuksellista ja sen julkaiseminen ei ole kaikilta osin mahdollista. Puhuttaessa kustannuksista tutkija on käyttänyt julkisia lähteitä tai aineiston keskiarvoja, jotta tutkimus olisi kaikilta osin julkinen.

Tutkimus voidaan aineiston analyysitapa ja tulkintasääntöjen perusteella jakaa kolmeen vaiheeseen: teorian muodostaminen, tietovarannon luominen ja elinjaksokustannuslaskenta. Teoreettinen osuus tutkimuksesta on toteutettu kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan teoriaa eri näkökulmista ja löydettyistä oleellisista malleista luodaan valvontalentokoneelle sopiva malli. Tietovarannon luomisessa hyödynnetään kaavan etsimisen ja selittämisen menetelmää [13]. Kustannuksien muodostumisesta pyritään löytämään kaavat ja kaavoihin vaikuttavien muuttujien vaikutus tarkasteltavaan kustannukseen. Tietovaranto ja käytettävät kaavat on kirjattu tutkijan Excel tiedostoihin, joista esitetään laskelman tulokset tässä tutkimuksessa ja varsinaisessa elinjaksokustannuslaskurissa. Tutkimuksen merkittävin uusi teoria perustuu elinjaksokustannuslaskurin muodostamiseen, tässä vaiheessa käytettäviä menetelmiä ovat aikasarja-analyysi, suora tulkinta sekä kaavojen etsimisen ja selittämisen menetelmät [13].

Raportointitavan päätös perustuu tilaajan toiveeseen käytettävästä kustannuslaskurista. Tutkija luo elinjaksokustannuslaskurin osana tutkimusta. Kustannuslaskuri on luotu Excel laskentatauluktoon. Kustannuslaskurin lisäksi on hyvä lukea tämä raportti ja raportissa esitetyt teoriat ja olettamukset, jotta kustannuslaskuria voi hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla. Kustannuslaskurissa voi lukuarvoja, muuttujia ja satunnaisuuksia muuttamalla tutkia erilaisia tapauksia ja arvioida tapausten vaikutusta elinjaksokustannuksiin. Laskuria käytettäessä on huomattava, että kirjattavat tiedot ovat laadullisia ja näin kustannuslaskurin antamat määrälliset arvot antavat vain arvion elinjaksokustannuksista. Vasta kustannuslaskurin tarkemmalla käytöllä, voidaan saavuttaa luotettavampia tuloksia elinjaksokustannuksista.

Tutkimusmenetelmään päädyttiin syystä, että ongelma oli selvillä eikä valvontalentokoneen elinjaksonhallintaan liittyen ole tehty aiempaa tutkimusta. Tutkimusmenetelmän valinta mahdollistaa laajemman lähteiden hyödyntämisen kohtuullisen yksityiskohtaisen tapauksen tarkastelussa.

Aineiston keräämisessä tiedostettiin ja havaittiin myös ongelmia. Vastaavilla ilma-aluksilla operoivat toimijat ovat pääsääntöisesti ulkomaalaisia ja toimivat valtionomistuksessa. Finnairin elinjaksohallinnan suunnitelmia eikä kustannuslaskelmia saatu tutkimukseen. Lisäksi tutkija ei lähtenyt selvittämään ilmavoimien kaluston elinjaksonhallintaa pyrkimyksenä julkisen tutkimuksen julkaiseminen. Tutkimusmenetelmä mahdollisti siten yksityiskohtaisen tiedon ja aineiston etsimisen aiheesta riippuen. Esimerkiksi tutkija pystyi keräämään vaihtoehtoisista ilma-aluksista riittävät tiedot Jane's tietokannan julkisten sopimusten aineistoista.

Tutkija kysyi Finnairin ilma-alusten toteutuneita kustannuksia ja elinjaksonhallinnan perusteita, mutta aikataulullisesti tai muista syistä näitä tietoja ei tutkija saanut. Todellisella tiedolla tutkija

olisi varmentanut luodun laskurin käytettävyyden. Kustannuslaskurin luotettavuuden tarkastelu tehdään kaupallisen elinjaksokustannus verkkosivuston Conklin & deDeckerin pohjalta.

Tutkimuksessa tärkeätä on myös vartiolentolaivueen tilastojen hyödyntäminen osana uutta mallia. Tutustumalla vartiolentolaivueen tilastoihin ja aikaisempiin sopimuksiin pystytään luomaan mallista juuri rajavartiolaitokselle otollinen malli. Henkilöstön, käyttöperiaatteiden ja aiemman kokemuksen arvioinnilla mallista saadaan tarkka ja sen käytettävyys paranee. Tilastot ja käytetty laskenta-aineisto on pääosin kerätty Gannet-huollonhallintajärjestelmästä ja tarkentavat tiedot on kysytty asiantuntijalta sähköpostilla tai tapaamalla.

Tutkimus rajataan edellisessä alaluvussa olevien tutkimuskysymysten mukaisesti. Lisäksi tutkimukseen liittyvät teoriat ja mallinnukset rajataan koskemaan miehitettyjä kiinteäsiipisiä ilma-aluksia [16]. Rajausta perustuu tilaajan tarpeeseen ja rajauksella mahdollistetaan tarkempi elinjakson arviointi.

2.3. Käsitteiden määrittely

Elinjakso (life cycle) on järjestelmän, tuotteen, palvelun, projektin tai minkä tahansa ihmisen rakentaman kokonaisuuden elämänkehitystä kuvaava ajanjakso, aina ideoinnista sen käytöstä poistoon. [17]

Elinjaksonhallinta (life cycle management), on elinjakson suunnittelua ja ylläpitämistä. Elinjaksoa hallitaan katselmoinneilla ja auditoinneilla Elinjaksoa ohjataan esimerkiksi elinjakso-päätöksien avulla. Elinjaksokustannuslaskelma on osa elinjaksonhallintaa. [11]

Tekninen elinjaksonhallinta on puolustusvoimien nimitys ISO 15288 standardin ”System Life Cycle Processes”-käännökselle [11]. Elinjaksokustannuksia ja riskejä voidaan hallita kustannustehokkaasti toteuttamalla elinjaksoprosesseja [11]. Standardin mukaisilla prosesseilla mahdollisistaan käyttäjälle mahdollisimman suuret hyödyt [17].

Elinjaksokustannus (life cycle cost LCC) kuvaa summaa, joka muodostuu koko järjestelmän tai laitteen elinjakson välillisistä tai välittömistä kustannuksista [18].

Elinjaksokustannuslaskenta (life cycle costing), luo tuotteeksi laskeman, jossa otetaan huomioon elinjakson kaikkien vaiheiden mahdolliset kustannukset [11]. Laskelmalla pyritään erilaisien menetelmien avulla ennustamaan tuotteen tai järjestelmän elinjaksokustannukset LCC [19].

Elinjaksomalli (life cycle model) on yksi järjestelmän suunnittelun avainkäsitteistä. Järjestelmän elinkaari koostuu yleensä sarjasta vaiheita, joita säätelee joukko hallintapäätöksiä, jotka vahvistavat, että järjestelmä on riittävän valmis elinjakson vaiheesta toiseen. [10]

Elinjakson vaihe (life cycle stage) on ajanjakso elinjakson sisällä, joka liittyy vaiheen kuvaukseen tai toteutumisen tilaan [17]. Elinjakson tyypillisiä vaihteita voi olla ideointi, kehitys, valmistus, käyttö ja tuki sekä käytöstä poisto. [20] Elinjakson vaiheiden määrittelyt tulevat ilmi tutkimuksen myöhemmässä luvussa.

Prosessi (process) on joukko toisiinsa liittyviä tai vuorovaikutteisia toimintoja, jotka muuttavat prosessiin tulevat asiat (inputs) prosessista lähteväksi asiaksi (outputs). [17]

Kustannusrakenne (Cost Brake Structure) kuvastaa kaikkia olennaisia kustannuksia jotka liittyvät tai vaikuttavat järjestelmän elinjaksokustannuksiin [22]. Luokittelu voi tapahtua esimerkiksi henkilöstön, materiaalin ja infrastruktuurin tasolla. Näiden luokitteluiden alle luodaan alaluokkia, kuten palkkakustannukset tai matkustuskustannukset. [11]

Järjestelmä (system) on vuorovaikutteisten elementtien yhdistelmä, joka toimii yhden tai useamman sille asetetun määritelmän mukaisesti. Järjestelmän elementit ovat esimerkiksi laitteistot, tietotekniikka, ohjelmistot, ihmiset, prosessit, materiaalit. [17] Järjestelmästä voidaan puhua, kun käsitellään vai tiettyä laitetta itsessään (system of interest SOI), mutta silloin on tärkeä muistaa, että järjestelmä luultavasti vaatii toimiakseen esimerkiksi ihmisiä. Järjestelmien järjestelmä (system of systems, SoS) koostuu useista järjestelmistä. [20] Tutkimuksessa ilma-alus on järjestelmien järjestelmä.

Järjestelmän elinjakso (system life cycle) on tarkasteltavan suorituskyvyn hankinnan, operoinnin ja kunnossapidon, järjestelmän päivittämisen ja modifioinnin, käytöstä luopumisen ja käytöstä poiston. [11]

Valvontalentokone (Surveillance aircraft) on rajavartiolaitoksen suorituskykyinen järjestelmien järjestelmä, erilaisten lainmukaisten tehtävien suorittamiseen. Valvontalentokone voidaan jakaa kolmeen alajärjestelmään. Runkoon, moottoriin ja valvontajärjestelmään. Näille kaikille järjestelmille on tyypillistä huollot, viat ja päivitykset.

2.4. Aiempi tutkimus ja lähdemateriaalin esittely

Elinjaksoajattelun tärkeys ja tarve ovat näkyneet puolustusvoimien tutkimusten aiheissa 2000-luvun alusta alkaen. Valtaosa tutkimuksista on tehty esiupseerikurssin lopputyönä tarkoituksena vastata sen hetkistä tutkimustarvetta. Ensimmäiset lähteet kerättiin näiden tutkimusten pohjalta. Aineistoanalyysiä tehdessä havaittiin, että pääesikunnan viimeisimmät ohjeet elinjaksonhallinnasta ovat kehittyneet laadukkaiksi ja tiivistettynä luovat hyvän pohjan elinjaksonhallinnan termien ja ajattelun pohjaksi ja ovat ansainneet paikkansa puolustusvoimissa.

Verkossa tehty tiedonhaku perustui asiahakuun, jossa verkkohakusivustolle määrättiin hakusana tai asia. Teoreettista aineistoa haettiin suomen ja englannin kielellä termien elinjakso (life cycle), elinjaksonhallinta (life cycle management) ja elinjaksokustannuslaskenta (life cycle costing) variaatiolla. Myöhemmässä vaiheessa uusien termien löytyessä hakua laajennettiin ja uudesta termistä haettiin saatavilla olevat tiedot tai teoriat. 'Elinjakso' hakusanan tulokset muodostuivat konetekniikan, rakennustekniikan ja tietotekniikan erilaisten elinjaksonhallinnan ja -kustannuslaskennan tutkimuksista ja artikkeleista. Tutkimuksen kannalta elinjaksonhallintaan ja lentotekniikkaan liittyviä artikkeleita löytyy niin insinöörien kuin taloustieteilijöiden tutkimuksista. Löydetty tutkimukset pääosin vastaavat tiettyä tapausta, joko rakennustekniikan tai tietotekniikan aloilla, eikä lentokoneen elinjaksokustannuksista löytynyt vastaavaa tutkimusta.

Ilmailun kustannustenlaskeminen ei ole uusi asia. Jo 1980-luvulta yritykset ja oppilaitokset ovat laskeneet kustannuksia ja ilmailuyrittämisen kannattavuutta [23]. Myös ilma-aluksista on tehty kustannuslaskelmia ja monet yritykset tarjoavat elinjaksokustannuslaskentaa maksullisena palveluna. Tutkijalla on käytettävissä konsulttiyritys Conklin & deDeckerin Databases -sovellus, joka tarjoaa käyttökustannuksia erilaisten ilma-alusten hankinnan ja päätöksen teon tueksi. Verkkosovellus tarjoaa käyttäjälle kustannusarvioita pohjautuen valittuihin muuttujiin ja palauttaa arvionsa tietokannastaan eri käyttäjiltä ja valmistajilta koottujen tietojen perusteella. [24] Sovellus on hyvä työkalu nopeaan kustannustenlaskemiseen ja toimii tutkimuksessa hyvänä vertailupohjana kustannuslaskennan loppuvaiheessa. Database-sovelluksen tietosivu korostaa aineiston käsittelyssä tehtyjä olettamuksia ja päätöksiä, jotka tulee huomioida aineistoa lukiessa. Konsulttiyritys on siis koostanut ja valinnut aineiston, jonka julkaisevat ilma-aluksille tyypikohtaisesti. [25]

Aineiston valinnassa tiedostettiin, ettei täysin vastaavaa ilma-aluksen elinjaksohallinta tutkimusta löytynyt. Sen johdosta aikaisempi tutkimus ohjasi tutkimustapauksen määrittelyä ja valintaa niin, että kartoittavalla tapaustutkimuksella pyritään selvittämään riittävät perusteet myöhemmää elinjaksokustannuslaskentaa varten.

Standardit

Tutkimuksen kannalta merkittävimmät lähteet muodostuvat standardien sarjasta. ISO/ICE 24748 ”Systems and software engineering - life cycle management” ja ISO/ICE 15288 ”Systems and software engineering - system life cycle processes” standardit ovat lähiaikana päivitettyjä ja luovat loogisen kokonaisuuden elinjaksonhallinnan yleisestä näkökulmasta. Standardisarja on luotu uudelleen vuonna 2018 siten, että 24748 standardin ensimmäinen osa kuvaa yleisesti sekä järjestelmän- että ohjelmointitekniikan elinjaksonhallintaa. 2. ja 4. osa tarkentavat

elinjaksonhallintaa järjestelmille ja 3. ja 5. osa ohjelmistoille. ISO 15288- standardi kuvaa järjestelmän elinjaksoprosesseja ja sen rinnalla 12207 standardi ohjelmistojen elinjaksoprosesseja. ISO 15288:n tueksi on luotu ISO 15289, joka antaa käyttäjälle valmiita listoja, mitä dokumentteja prosessin erivaiheista tulisi olla. [20]. Suurin osa tutkimuksista ja artikkeleista viittaavat kansainvälisiin standardeihin ja siten standardit ovat yleisesti käytössä.

Omaisuuksienhallintaan liittyvä ISO-55000 standardi sarja on julkaistu vuonna 2014. Standardi tukee omaisuudenhaltijaa tekemään päätöksiä, jotta omaisuus pysyy jatkuvasti tuottavana omistajalleen. Standardissa lähestytään elinjaksosuunnittelua ja jatkuvaa omaisuudenhallintaa lähinnä taloudellisten investointien näkökulmasta. Standardi on julkaistu suomen kielisenä. [26]

Sotatekniset oppaat

Tutkimuksen sotilaallisen elinjaksosuhallinnan näkökulman luo puolustusliitto Naton kolme julkaisua vuosilta 2007, 2009 ja 2012. Naton tutkimus- ja teknologiaorganisaatiolla on ollut tavoitteena muodostaa monikansallisesti kattava elinjaksosuhallintaan sidottu tutkimus ja raportti, joka hyödyttää kaikkia Naton jäsenmaita ja kumppanuusmaita.

Ensimmäinen julkaisu vuodelta 2007, ”Methods and models for life cycle costing” (Elinjakokustannuksen menetelmät ja mallit), on kattava tarkastelu elinjaksosuhattuksesta ja sen hyödynnettävyydestä sotilaallisissa järjestelmissä. Vuoden 2009 ohje: ”Code of Practice for Life Cycle Costing” (Menettelyohjeet elinjaksokustannuslaskentaan) on tiivistys vuoden 2007 raportin havainnoista ja johtopäätöksistä. Vuoden 2007 tutkimuksen malli rakentuu voimakkaasti ISO 15288:2002 standardin havaintoihin, mutta vuoden 2009 on jo esitys Naton omasta mallista. Nämä elinjaksomallit eivät kuitenkaan poissulje toisiaan, vaan perustellusti joitakin vaiheita on yhdistetty ja toisista on tehty tarvittaessa tarkempia vaiheita juuri sotilaallisen järjestelmän tarkasteluun. Vuoden 2012 julkaisu sisältää esimerkkejä toteutuneista laskennoista.

Puolustusvoimien normisto ja kirjallisuus ovat keskeinen osa tutkimusta ja elinjaksosuhallinnas jäsentämistä. Vaikka puolustusvoimien ohjeistuksesta näkee, että ne on rakennettu standardien ja Naton ohjeistusten mukaisesti on ne kuitenkin paikkansa ansainneet. Termistö, määritelmät ja suomalainen ajattelu antaa tutkimukselle hyvän vertailupohjan ja tutkijalle varmuuden asioiden todenmukaisuuksista. Etenkin puhuttaessa suorituskyvystä ja sen kehittämistä, ollaan pääesikunnan ohjeilla mukana kokonaisvaltaisessa elinjaksosuhallinnassa. Haaste puolustusvoimien kirjallisuuden ja aiempien tutkimusten käyttämisen kanssa on niiden ajantasaisuus. Kosolan kirja on kirjoitettu 2007 ja sen jälkeen standardit, Naton ohjeet ja kirjat ovat päivittyneet. Käyttökelpoisena lähteenä on käytetty puolustusvoimien viimeisintä ohjetta ” Joukon ja järjestelmän elinjaksosuhallinta” vuodelta 2017. Ohje on kuitenkin verrattain lyhyt, mutta ohjeen liite

kolme antaa käyttäjälle valmiin kustannuslaskurin, jota hyödyntämällä pystytään arvioimaan elinjaksokustannuksia. Ohjeen liite 3 toimii yhtenä osana myös tutkimuksen kustannuslaskentaa.

Insinööritieteiden oppaat

Elinjaksokustannuslaskennan merkittävimmät lähteet ovat Taylor & Francis Group (CRC Press) julkaisemat oppikirjat elinjaksokustannuslaskentaan. Kolmen kirjan kokonaisuus on kehittynyt vuodesta 2010 tähän päivään. Ensimmäinen kirja ”Life Cycle Costing for Engineers” esittelee elinjaksokustannuslaskennan yksinkertaiset mallit ja laskutavat kokonaisvaltaisten kustannusten arviointiin. Toinen kirja (2011) ”Systems Life Cycle Costing” antaa lukijalle erilaisten esimerkkien avulla konkreettisia arvoja erilaisten järjestelmien elinjaksokustannuksista. Oppikirja johdattelee lukijaa yksinkertaisilla laskuilla aina tietokonesimulaatioon ja herkkyyksien arviointiin. Kolmas kirja (2017) ”Maintenance Costs and Life Cycle Cost Analysis” opastaa lukijaa järjestämään huolto-organisaationsa siten, että huollon kustannukset pienenevät ja siten elinjaksokustannukset laskevat. Oppikirjojen käytettävyys tutkimuksessa on merkittävä, kun tutkija analysoi ja rakentaa kustannusmallia ja -rakenteita.

Marraskuussa 2019 julkaistu kirja ”*Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making: Methodologies and Case Studie*” pyrkii antamaan yrityksille mahdollisuuksia parantaa elinjaksoajatteluaan siten, että strategiat olisivat myös ympäristöystävällisesti kestäviä. [27] Kirjassa käytetään samoja menetelmiä ja malleja kuin muissakin oppaissa. Kirja tosin on otettava tosisaan, koska sen ovat kirjoittaneet maailmanlaajuisesti merkittävät tutkijat, joiden artikkeleita voi lukea tieteellisistä julkaisuista.

Tutkimukset

Markku Vertanen on julkaissut yleisesikuntaupseerikurssin diplomityön heinäkuussa 2019. Vertanen on tehnyt kvalitatiivisen kirjallisuustutkimuksen pyrkien havainnoimaan, mitä konflikteja ja intressiristiriitoja voi syntyä elinjaksokustannuslaskelmassa agenttiteorian avulla. Vertasen tutkimuksesta löytyy kattava katsaus nykyaikaisiin artikkeleihin ja konferenssi julkaisuihin. Vertasen diplomityön keskeinen havainto on, että kustannuslaskelmaan vaikuttaa useat konfliktit eritoimijoiden välillä. Kitka kustannuslaskennan toimijoiden välillä voi johtua laskenta datan, aikataulun, riskisietokykyyn, tulkintaeroihin ja kustannusten jakautumisen aiheuttamista paineista tai erimielisyyksistä. Vertasen diplomityön opetus tulisi sisäistää työryhmissä ja yhteisöissä, jossa elinjaksokustannuslaskelmaa tuotetaan, jotta välttyttäisi työryhmän sisäisiltä ristiriidoilta ja pystyittäisi keskittymään oleelliseen eli parhaimman suorituskyvyn rakentamiseen ja ylläpitämiseen. [28]

Vertasen diplomityöstä voidaan tähän tutkimukseen sisällyttää johtamisen ja laskennan taustalla vaikuttavat ongelmat ja haasteet, joita pitäisi osata hyödyntää itse asian läpikäymisessä. Valvontalentokoneen elinjaksonhallinnassa ja kustannuslaskelmassa ristiriitoja voi syntyä ohjaajien tarpeen, tekniikan suoriutumisen tai aiheesta tietämättömän taloustieteilijän eriävistä näkökulmista. Heitä kaikkia kuitenkin tarvitaan parhaimman kustannuslaskelman tuottamiseksi.

2.5. Luotettavuusvarmistus

Kartoittava tapaustutkimus on laadullinen tutkimuksen lähestymistapa, jossa luotettavuuden arviointi korostuu jokaisessa tutkimuksen vaiheessa. Luotettavuutta varmistaessa voidaan soveltaa erilaisia laadullisen, että määrällisen tutkimuksen aineiston keruu- ja analyysimenetelmiä [13]. Tapaustutkimusta on kritisoitu aineiston keruun, analyysin tarkkuuden ja edustavuuden osalta [29]. Aineiston osalta kriittisyys ja analyysiin avoimuus liittyvät tutkimusprosessiin eri vaiheissa [13].

Tutkimuksen teoria pyritään varmistamaan alkuperäislähteestä ja kerätty aineisto varmentamaan vähintään kahdesta toisistaan riippumattomista lähteistä. Laadullisessa tutkimuksessa tutkijan harkinta ja päätöksenteko aiheuttavat tutkimukselle subjektiivisuuden vaaran. Tutkija pyrkii huomioimaan teorioita pohtiessaan kaiken merkitsevän ja perustelemaan valintansa läpinäkyvästi.

Kustannuslaskuria tehdessä tutkija joutuu päättämään asioita, kuten talouden, polttoaineen, materiaalin yksikköhintojen ja henkilöstön palkkojen kehityksiä. Kustannuslaskurista muodostetaan modulaarinen ja helposti muutettava. Näin kustannuslaskurin käyttäjä pystyy muuttamaan olettamuksia ja tarkastamaan laskentafunktioiden toimintaa. Kustannuslaskureiden modulaarisuudella käyttäjä voi tarkastella esimerkiksi vain henkilöstöstä aiheutuvien kustannuksia.

Kirjallisuusanalyysissä tutkija joutuu valitsemaan aineiston mihin tutustuu ja mistä valitsee mallinsa. Tutkija ei pysty valitsemaan kaikkia kirjoitettuja artikkeleita vaan pyrkii keskittymään aiheen rajauksen mukaisiin lähteisiin. Oppikirjojen ja oppaiden käyttö tutkimuksen lähteenä voi aiheuttaa laadullisen ongelman. Oppikirjat ja oppaat ovat suunnattu joillekin tietyille opiskelijaryhmälle, jolloin niissä käytetään tiettyä kieltä tai käsitellään aihetta vain tietyistä näkökulmista. Tämän takia tapausta pyritään tarkastelemaan useasta näkökulmasta.

Tapaustutkimusta on kritisoitu tulosten yleistettävyyden ja tilastollisen yleistämisen vaikeudesta [29]. Valvontalentokoneen toimintaympäristö on ainutlaatuinen ja rajavartioloitoksen organisaatio, kalusto ja tehtävät on kehitetty pitkän ajan kuluessa. Samoin aiemmat tilastot ja elinjaksonhallinta kuvaavat menneitä osaamista ja asetettuja vaatimuksia. Tapauksen erityisyy-

destä johtuen tulosten yleistämiselle ei ole suoraa tarvetta. Tapaustutkimuksessa tapauksen kokonaisvaltainen ymmärtäminen on aina tärkeämpää kuin sen yleistäminen. Tapaustutkimuksen toistettavuus on heikkoa. Samankaltaista valvontalentokone hanketta ei todennäköisesti tule lähivuosina.

Tapaustutkimusta on kritisoitu myös puutteellisesta kurinalaisuudesta aineistoa kerätessä ja analysoitaessa [29]. Aineiston, tapaamiset, sähköpostikeskustelut ja muut keskustelut ovat osa kartoittavaa tapauksen tutkimista, eikä tuloksia voida myöskään verrata kokeellisen tutkimuksen tuloksiin luotettavuuden osalta. Eksploratiivisessa tapaustutkimuksessa tutkimuksesta johtopäätöksiä on tehtävä vain varovasti, huomioiden tutkimusmenetelmän ongelmat myös analyysin, tulosten ja johtopäätösten aikana. [13]

3. ELINJAKSONHALLINTA

Tässä luvussa käsitellään elinjaksonhallinnan ja elinjaksokustannuslaskennan teoriaa, josta muodostetaan tutkimukselle oma elinjaksomalli ja siihen sidotut keskeiset teoriat. Luvun lopussa esitetään myös RAM-suunnittelumenetelmän hyödyntäminen elinjaksonhallinnassa, josta tarkemmat kaavakuvauksen on esitetty liitteessä 2.

Elinjaksonhallinnalla pyritään aina saavuttamaan järjestelmän suorituskvyyllle kustannustehokain lopputulos, oli sitten järjestelmä vasta suunnitteluvaiheessa tai elinjaksonsa loppupuolella [22]. Elinjaksonhallinta ei ole yhden hetken ponnistus, jossa tuotetaan elinjaksosuunnitelma ja -kustannuslaskema, vaan sitä tulisi tehdä järjestelmän koko elinjakson ajan. [30]

Elinjaksonhallinnan keskeiset toiminannat ovat elinjaksosuunnitelman laatiminen ja sen ylläpitäminen, elinjaksokustannuslaskenta, elinjakson vaiheiden välillä tehtävät elinjaksoauditoinnit ja elinjaksopäätökset [11].

Yleisesti elinjaksonhallinnassa korostetaan suunnitelmallisuutta elinjakson alkuvaiheessa, jolloin koko elinjaksokustannuksiin pystytään vaikuttamaan eniten. Tällöin saadaan oikea suorituskvyy suhteessa rahaan ja aikaan. [30] Kun suunnittelu tehdään hyvin ei osteta turhaa tai makseta turhasta. ”Puolustusvoimien toiminta” -ohjeessa kuvataan prosessien avulla elinjaksosuunnittelun perusteet ja toimintaohjeet. Toimintaohjeen liite 3 avaa prosessien sisällöt, niin syötteet, välituotteet kun vaadittavat lopputuotteet. [31]

Käsitteillä ’elinkaari’ ja ’elinjakso’ tarkoitetaan tässä tutkimuksessa samaa asiaa. Suomenkielisissä lähteissä termejä käytetään sekalaisesti, mutta puolustusvoimissa termi ’elinjakso’ on vakiintuneempi. Elinjakso sopii paremmin, kun puhutaan suorituskvyyvystä eikä niinkään valmistajan näkökulmasta järjestelmästä tai ohjelmistosta. [21] Englanninkielisessä kirjallisuudessa termeillä elinjaksonhallinta (life cycle management) ja elinjaksokustannuslaskenta (life cycle costing) ovat suoraan toisiaan täydentävät termit, toista ei ole ilman toista. Hallinta pyrkii vähentämään kustannuksia ja kustannuslaskelmalla pyritään vaikuttamaan päätöksiin ja elinjaksonhallintaan. Puolustusvoimissa aiemmin on tunnettu myös termi elinjaksokustannusten hallinta [21], joka tässä tutkimuksessa sisältyy elinjaksonhallintaan.

2020-luvulla elinjaksoajattelu pyrkii muuttamaan yritysten strategioita myös ympäristön kannalta kestäviksi. Menetelmät ovat samat, mutta lopputuloksissa huomioidaan myös ympäristön rasittuminen. Järjestelmiä, tuotteita ja palveluita ajatellaan pitemmällä aikajänteellä ja siten kierrätysmateriaali, energiatehokkuuden, uusiutuvan energian käytön ja kierrättämisen kokonaisuus vaikuttaa yrityksen imagoon ja siten suoraan tuottavuuteen ja kannattavuuteen. [27]

Myös valtioneuvoston periaatepäätöksessä elinjakson aikana velvoitetaan omistajaa kiinnittämään huomioita sosiaalisiin- ja ympäristöllisiinvaikutuksiin koko elinjakson aikana. Ympäristö- ja energiaratkaisut (cleantech-ratkaisut) tulee huomioida kokonaistaloudellisestiparhaalla tavalla. [12]

RAMS-suunnittelumenetelmä kuvaa miten järjestelmän luotettavuus, käytettävyys, huollettavuus ja turvallisuus voidaan arvioida ja sitä voidaan hyödyntää myös elinjaksokustannusten laskemisessa. (RAMS = Reliability, Availability, Maintainability and Safety) [32] Tutkimuksessa ei tarkastella turvallisuussuunnittelua, sillä siviili-ilmailu asettaa itsessään tiukat kriteerit turvallisuudelle ja turvallisuusjärjestelmä on jo valmiiksi olemassa. RAM-menetelmä ei kerro mitä mikään maksaa, mutta se nostaa esille mitä tapahtuu toiminnalle, jos esimerkiksi lentotunteja lisätään enemmän kuin on alun perin suunniteltu.

3.1. Elinjaksonhallinnan näkökulmat

Tämä luku vastaa tutkimuskysymykseen ”Mitä on elinjaksonhallinta”. Ongelmaa pohditaan kolmesta eri lähtenäkökulmasta. Nämä näkökulmat ovat seuraavat: Standardien näkökulma, insinöörien näkökulma ja sotilaallinen näkökulma. Näkökulmissa tulee huomioida lähteen näkökulma elinjaksoon liittyen, kenelle ohje tai opas on kirjoitettu, koska näkökulma ei välttämättä halua kertoa ylimääräistä johtamisesta, jos sen tavoitteena on kehittää laskentaa.

Standardien näkökulma

Monimutkaisia järjestelmiä pitää pystyä hallitsemaan ja sen takia on laadittu standardit parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. ISO 15288:2015 standardi määrittää, että jokaisella järjestelmällä on elinjakso. Tämän elinjakson voi esittää haluamansa mallin mukaisesti, siten että se vastaa järjestelmälle konseptivaiheessa asetettuja käyttötarkoituksia. [17]

ISO 24748:2018 korostaa, miksi elinjaksonhallintaa pitää toteuttaa suunnitelmallisesti [20]:

- Järjestelmän tarve ja käyttöperiaatteet tulee kuvata hyvin, aina konsepti vaiheesta sen purkamiseen saakka, jotta tuote vastaa käyttötarkoitusta.
- Elinjaksonhallinta auttaa hahmottamaan järjestelmän kehitystä ja järjestelmän elinjakson vaiheita, kun vaiheiden välillä pitää tehdä selkeitä päätöksiä.
- Elinjaksonhallinta vähentää riskejä, kun hallitaan kokonaisuuksia, joissa on mukana myös palveluita, suunnittelua ja käyttöä.

Ideointi ja määrittelyvaiheen aikana tehty laadukkaat suunnitelmat koko elinjaksolle palvelevat niin tilaajaa, kun toimittajaa. Kun tiedetään mitä tarvitaan ja mihin järjestelmää on tarkoitus käyttää, on valmistajan helpompi tuottaa vaatimustenmukainen järjestelmä. Samalla tilaajan ei tarvitse maksaa ylimääräisestä tai jälkeinpäin lisätystä ominaisuudesta. [20] Standardi ohjaa

hankkijaa ja toimittajaa yhteiseen määrittelyyn sen sijaan, että toimijat toimisivat erillään toisistaan. [17]

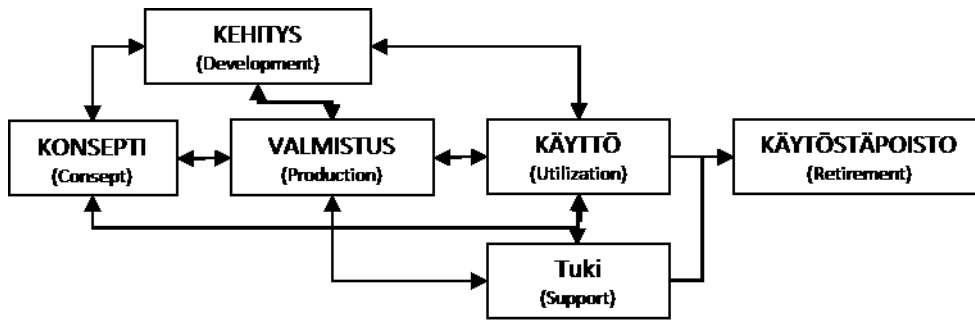
Elinjaksonhallinta on vaikeaa, kun suunniteltavalla järjestelmällä on kymmeniä vuosia kestävä käyttövaihe, kuten ilma-aluksella. Pitkässä aikataulussa markkinoiden ennakoitavuus, järjestelmien päivittäminen ja järjestelmien kunnon kehitys voivat aiheuttaa paljon muuttujia, jotka vaikuttavat riskeihin. [20] Kuitenkin prosessien kurinalaisella seuraamisella ja standardin tarjoamien ohjeiden avulla elinjaksonhallinta on vain toisiaan seuraavia prosesseja. Prosessin oikea-aikainen toteuttaminen ja siitä muodostuvat tuotteet palvelevat paremman lopputuloksen saavuttamiseksi. Samalla elinjaksoa pystytään seuraamaan ja päätökset pystytään tekemään aikataulussa. [17]

Nykyaikaiset ja monimutkikkaat järjestelmät ovat riskialttiita. Elinjaksonhallinnalla pystytään merkittävästi vähentämään riskejä. Riskejä ei voida kokonaan poistaa, mutta niitä voidaan ennakoida ja ottaa huomioon suunnittelussa. Riskinotto ja ongelmista selviäminen on hallittua ja ne eivät pääse yllättämään. [17] Riskeillä on mahdollisuus niin negatiiviseen, kuin positiiviseenkin vaikutukseen. Riskien luokittelulla ja vaikutusten arvioinnilla saavutetaan piilossa olevat asiat näkyville ja siten hallittaviksi. [20]

Standardit luokittelevat elinjaksonhallinnan kokonaisuudeksi, jossa on kaksi eriävää linjaa. Järjestelmälle on omat ohjeensa ja ohjelmistolle omansa. Elinjaksonhallinnassa on ensimmäisenä päätettävä, onko kiinnostava järjestelmä (system of interest) järjestelmä, jossa on vähän ohjelmistoja vai onko kyseessä ohjelmisto, jossa on vain vähän järjestelmiä. Näin standardeista voi valita itselleen sopivimman, jonka mukaan edetä. Mikäli puhutaan molempien sekoituksesta, tulee selata molempia standardeja rinnakkain huomioidakseen niin järjestelmät kuin ohjelmistotkin. [20] Tässä tutkimuksessa ilma-alusta pidetään ensi sijassa järjestelmänä, vaikka se sisältääkin paljon ohjelmistoja.

Standardeissa elinjaksonhallinta suunnitellaan elinjakson vaiheiden avulla. Vastaavasti elinjakso suunnittelua ylläpidetään jatkuvasti erivaiheiden aikana elinjaksoprosessien avulla. Elinjakson vaiheet ja siten järjestelmän kehittämisen näkökulma on muuttunut täysin valmiista tuotteesta jatkuvan kehittämisen tuotteeksi (Kaavio 2). Uudemmassa ajattelussa tuote saatetaan hyväksyä käyttöön, vaikka sen suunnittelu olisi vielä kesken. Näin ollen tuotetta kehitetään koko sen käyttövaiheen aikana. [20]. Ilma-aluksen elinjakso valmistajan näkökulmasta voisi hyvin olla Kaavio 2 kaltainen. Samaan aikaan käyttäjän näkökulmasta tuote on jo täydessä käytössä eikä paluuta kehitystyöhön ole, vaan tuki mahdollistaa käytön. Standardit korostavat, että mallit tulee suunnitella käyttötarkoituksensa mukaan, eikä kaikki mallit sovi jokaiselle järjestelmälle

[20]. Myös omaisuudenhallinta-standardin näkökulmasta tuotteen laadukkaasta suunnittelusta voi syntyä hyötyä omistajalleen, kun havaitaan riskit ja niihin pystytään puuttumaan [26].



Kaavio 2: Standardin mukaisesti elinjakson vaiheet voivat olla myös ristikkäin [20]

Elinjaksonhallinnassa on keskeistä huomioida kiinnostava järjestelmä ja sitä mahdollistavat järjestelmät (enabling systems). Mahdollistavilla järjestelmillä tarkoitetaan niitä kokonaisuuksia, joita tarvitaan kiinnostavan järjestelmän elinjakson mahdollistamiseen. Esimerkiksi ideointi vaiheessa olevan järjestelmän suunnittelussa tarvitaan ohjelmistoja, puhelimia, tiloja, koulutusta, asiakirjahallinnan suunnittelua, jotta varsinaisen järjestelmän konsepti vaihe voidaan toteuttaa hallitusti. Kun ideointi on saatu päätökseen ei esimerkiksi käytettyjä suunnittelutiloja tarvita vaan niistä tehdään valmistustiloja. [20]

ISO 15288:2015 antaa käyttäjälle selkeät prosessikuvaukset, joilla toteuttaa elinjaksonhallintaa. Nämä elinjaksoprosessit on luokiteltu neljään kokonaisuuteen: sopimusprosessi, organisaatiohankkeita mahdollistavat prosessit, teknisen johtamisenhallinnan prosessi ja tekniset prosessit. [17]

Sopimusprosessi (Agreement processes) kuvastaa kahden organisaation välistä vuorovaikutusta tilaajan ja toimittajan välillä. Hankkeet ja niiden sopimukset velvoittavat kumpaakin osana järjestelmän elinjaksoa. Vastaavasti toimitussopimukset tai huoltosopimukset toteutetaan näiden prosessikuvausten mukaisesti. [17]

Organisaatiohankkeita mahdollistavat prosessit mahdollistavat hankkeiden laadukkaasti toteuttamisen. Hanke onnistuu, kun organisaatiolla on koulutettua henkilöstöä, hankkeen laatua voidaan valvoa täsmällisesti, resursseja on riittävästi, tilat ovat asianmukaiset ja suunnittelua voidaan tehdä hallitusti. Prosessi on luonteeltaan organisaation strategista toimintamallia. Organisaation pitää pystyä resursoimaan hankkeita ja havainnoimaan hankkeen riskejä. Elinjaksonhallinnan johtaminen on keskeinen osa organisaation näkyvää tulosta. [17] Organisaationhankkeen mahdollistavia prosesseja voi olla konsulttien käyttäminen, elinjakosuunnitelmien ostaminen valmiina tai koulutuksen ostaminen hankeryhmälle, riippuen organisaation toimintavasta.

Teknisen johtamisenhallinnan prosessi on varsinaisen järjestelmän elinjaksonhallintaa. Tekninen johtaminen asettaa suunnitelmat ja ohjeistukset, millä prosesseilla johdetaan ja seurataan mitään teknisenjärjestelmän asiaa. Hankkeensuunnittelu, hankkeen hallinto, päätöksenteon, riskien, kokoonpanon, informaation, mittaamisen ja laadun varmistamisen hallinnan prosessit nimimensä mukaisesti ovat teknisen johtamisen prosesseja. Näiden avulla hanke pystytään hallitusti toteuttamaan ja seuraamaan muutoksien sattuessa. [17]

Teknilliset prosessit ovat varsinaisesti elinjakson vaiheisiin sidottuja toimintamalleja. Tekninen prosessi yksinkertaistettuna tuottaa tarpeesta tuotteita. Prosessimallit lähtevät liikkeelle yrityksen tilanteen ja tavoitteiden analysoinnista. Määritetylle tarpeelle rakennetaan tuote, joka vastaa asetettuja vaatimuksia. Tuotetta käytetään ja huolletaan, kunnes se halutaan hylätä ja toinen tuote korvaa järjestelmän. [17]

Insinöörien näkökulma

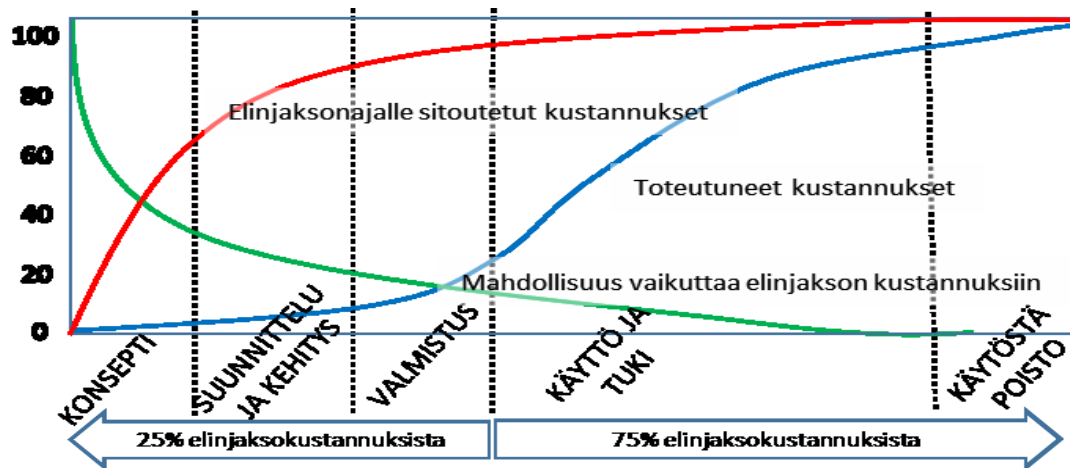
Insinööreille suunnatuissa CRC Pressin julkaisemissa oppaissa elinjaksonhallinnan sijaan puhutaan voimakkaasti elinjaksokustannuslakennasta. Insinöörit joutuvat laskemaan ja arvioimaan elinjaksokustannuksia ja suunnittelijat pystyvät omilla valinnoillaan vaikuttamaan tuleviin elinjaksokustannuksiin. CRC Press on julkaissut useita oppaita insinööreille pyrkien luomaan tietoisuutta elinjaksokustannusten merkittävydestä osana järjestelmien suunnittelua ja kehittämistä. Elinjaksokustannuslaskenta on osa elinjaksonhallintaa [11].

Huomioin arvoista on tiedostaa, että insinöörit oppaiden avulla keskittyvät täysin uusien järjestelmien elinjakson suunnitteluun. Näin ollen pääpaino kustannusten minimoinnilla pyritään pitämään ideoinnin, suunnittelun ja prototyyppien valmistuksessa, niillä reunaehdoilla, että pysytään asiakkaan aikataulussa ja vaatimuksissa. [18]

CRC Pressin oppikirjoissa elinjaksonhallintaa:

- Järjestelmien hinta ei ole vain suunnittelun ja valmistuksen hinta, vaan sen koko elinjaksokustannus. Elinjaksokustannus on moninkertainen monin kertainen hankintahintaan nähden. [18]
- Elinjaksokustannuslaskennassa pitää huomioida taloustieteen vaikutukset elinjaksokustannukseen. [18]
- Insinöörityökalujen hyödyntäminen elinjaksosuunnittelussa ja -kustannuslaskennassa pitäisi olla insinöörin arkea sen sijaan, että mietitään vain järjestelmän toiminnollisuuksia tai aikataulua. [19]
- Elinjaksokustannuslaskentaa pitää toteuttaa koko järjestelmän elinjakson ajan. Etenkin kun siirrytään elinjakson vaiheesta toiseen. [19]

Elinjakson aikana syntyvät kustannukset ovat moninkertaisia suunnittelu- ja hankintavaiheen kustannuksiin verrattuna [18]. Oppikirjat korostavat kustannuslaskennan merkitystä päätöksenteossa. Pelkona nähdään, että elinjakso-kustannukset jätetään mainitsematta, koska pelätään suuria summia ja näin hanketta ei tultaisi koskaan toteuttamaan. [19] Arviot ja laskelmat osoittavat, että yksinkertaisen järjestelmän käyttökustannukset (operating cost's) ovat kolminkertaiset tuotteen suunnitteluun ja valmistamiseen nähden. [19] Mikäli puhutaan monimutkaisemmasta järjestelmästä, kuten ilma-alus nousee käyttökustannukset suuremmiksi. [18]



Kaavio 3: Suunnittelun merkitys elinjakso-kustannuksille, muokattu lähteestä [10]

Elinjaksonhallinnan kannalta on keskeistä huomioida konseptivaiheen aikana tehdyt päätökset. Richard Andrew on 2003 esittänyt kustannusten muodostumisen Kaavio 3 mukaisesti, jota sittemmin on lainattu lähes kaikissa 2000 luvun elinjakso-kustannus oppaissa. [10] Edellä mainituista syistä on erittäin kriittistä suunnitella tuote, joka vastaa vaatimuksia jo suunnittelun alkuvaiheessa [21]. Hankintavaiheen aikana tehdyillä suunnitelmilla ja päätöksillä on merkittävä rooli koko elinjaksonhallinnassa ja -kustannuksissa. [12] Myös Vertanen tiivistää havaintonsa päätelmään, että varhaisissa vaiheissa tehdyt päätökset vaikuttavat niin hankkeen etenemiseen, kuin käyttö- ja ylläpitovaiheessa muodostuviin kustannuksiin, jotka sitten maksetaan vasta tulevaisuudessa. [28]

Taloudenkehitys ja rahan arvon muutokset tulee huomioida elinjaksonhallinnassa. Mikäli talous ja sen muutokset luovat suunniteltavalle järjestelmälle liikaa riskejä, tulee päätöksenteossa pystyä uudelleen suunnittelemaan ja määrittelemään tarpeet yrityksen pääoman turvaamiseksi. [18]

Pressin tavoitteena on, että insinöörit käyttäisivät enemmän taitojaan oleelliseen laskentaan, kuin järjestelmän toiminnollisuuksien vertailuun. Laskemalla järjestelmien luotettavuuksia ja huollettavuutta pystytään järjestelmiä kehittämään ja hankkimaan riittävät määrät toiminnan

ylläpitämiseksi. Vikaantuminen, käytettävyys ja huollettavuus todentavat mikä järjestelmä pitkän päälle on paras. Näitä muuttujia pystytään laskemaan erilaisten sovellusten ja tietokoneohjelmien avulla. Nykyaikaiset järjestelmät keräävät itsestään tietoja, joita pitää vain pystyä analysoimaan, jolloin tulevaisuutta on helpompi arvioida. [19] Tulevaisuuden ennustamisessa laskennalla pystytään suunnittelemaan parhaat ja kustannustehokkaimmat huoltovälit, elinjakso-päivitykset (MLU mid life upgrade) ja peruskorjaukset. Samalla niiden täsmällinen suunnittelu luo omistajalle parhaimmat positiiviset vaikutukset [32]. Kustannuslaskennalla pyritään havaitsemaan jäävuoren vedenpinnalla olevat merkittävät asiat, siten, että niiden negatiiviset vaikutukset olisivat pienet [22].

Insinöörit, kuten muutkin lähteet korostavat elinjakso-kustannusten jatkuvaa päivittämistä mahdollisten riskien minimoimiseksi. Laskelmien tulee pystyä vaikuttamaan päätöksiin ja vastavasti päätökset tulee pystyä huomioimaan laskelmissa. Näin riskit pystytään havaitsemaan ja päätöksentekijä pystyy ottamaan riskejä laskelmien mukaisesti. [18]

Farr esittelee oppaassaan seuraavan elinjakso-mallin (Kaavio 4): Konseptin tutkimus, komponentin edistysellinen valmistus, järjestelmän integrointi ja alustava suunnittelu, järjestelmän esittely, testaus ja arviointi, valmistus sekä operointi, tuki ja päättäminen. Tämä malli kuvastaa hyvin laitevalmistajan intressejä, joissa insinöörit ovat vaikutukseltaan mukana. [19]

KONSEPTI TUTKIMUS (Conceptual Exploration)	KOMPONENTIN VALMISTAMINEN (Component Advanced Development)	JÄRJESTELMÄ INTEGROINTI JA ALUSTAVA SUUNNITTELU (System Integration/ Preliminary design)	JÄRJESTELMÄN ESITTELY, TESTAUS JA ARVIOINTI (System Demonstration, test, and evaluation)	VALMISTUS (Production)	OPEROINTI, TUKI & KÄYTÖSTÄPOISTO (Operations, Support & Disposal)
-------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------

Kaavio 4: Esimerkki elinjakson vaiheista tuotesuunnittelun näkökulmasta [19]

Sotilaallinen näkökulma

Puolustusvoimissa elinjaksonhallinta alkaa jo strategisesta suunnittelusta. Koska resursseja suunnitellaan pitkällä aikavälillä, tulee tehdyissä rahoitussuunnitelmissa pystyä arvioimaan suorituskvyn kustannuksia ennen kuin edes konsepti vaihe on kunnolla päässyt vauhtiin. Sama toteutettavuus arviointi näkyy myös Naton elinjakso-mallissa. Se mikä siviiliyrityksessä voidaan tehdä kuukausissa, vaatii puolustusvoimissa useiden vuosien rahoituksen suunnittelun ja samalla poliittisen hyväksynnän. Tämän takia jo strategisessa suunnittelussa on huomioitava elinjakso-kustannukset entistä tarkemmin, jotta mahdolliset hankkeet pystytään toteuttamaan aikatauluissa. [21]

Puolustusvoimien pääprosessit ohjaavat kaikkea puolustusvoimien toimintaa ja ne ohjaavat myös elinjaksonhallinnan prosesseja. Puolustusvoimien 1. pääprosessin mukaisesti suorituskyyvyn suunnittelulle ja kehittämiselle määritellään elinjaksosuunnittelun perusteet. Kaikki toiminta lähtee strategisen suunnittelun pohjalta. Mikä on uhka, mikä on tarvittava suorituskyyky, millä aikataululla suorituskyyky luodaan ja mitä resursseja suorituskyyvyn rakentamiseen ja ylläpitämiseen vaaditaan. [31]

Puolustusvoimien toiminnan ensimmäisessä pääprosessissa suunnitellaan ja kehitetään suorituskyykyä, jonka aikana laaditaan suorituskyyvyille kehittämisohjeet. Ensimmäisessä prosessissa laaditaan myös erilaisia konsepteja suorituskyykyjen toteuttamiseksi ja niihin sisältyy vertailut ja päätökset valituista konsepteista. Ensimmäisessä prosessissa laaditaan suunnitteluperusteet kehittämisohjelman toteuttamiseksi. Elinjaksoa tarkastellaan ja niiden kehittämiseen laaditaan resurssi ja rahoitustarpeet. Näiden perusteiden mukaan voidaan aloittaa suorituskyyvyn rakentaminen. [31]

Toisessa pääprosessissa rakennetaan ja ylläpidetään määrätty suorituskyyky. Kehittämisohjeen pohjalta laaditaan kehittämissuunnitelmat, joiden avulla ylläpidetään, puretaan tai rakennetaan suorituskyykyä. Suorituskyykyä rakennetaan ja ylläpidetään esimerkiksi hankkeiden avulla. Prosessissa 2.2 suorituskyyvyn rakentamisen vaiheessa tehdään hankkeeseen ja elinjaksoon liittyen elinjaksopäätöksiä, joiden avulla hanketta voidaan viedä eteenpäin. Päätösten perusteella voidaan tarkastella valitun konseptin elinjaksokustannuksia ja auditoida elinjaksoa sen erivaiheissa. [31] Puolustusvoimissa elinjaksonhallintaa ohjataan oman ohjeen avulla (HN917). Suorituskyyvyn rakentaminen ohjataan noudattamaan järjestelmän ja joukon elinjaksomallin mukaisia vaiheita (Kaavio 5): Konsepti, määrittely, suunnittelu, rakentaminen, käyttö ja ylläpito sekä purku. [11]

KONSEPTI	MÄÄRITTELY	SUUNNITTELU JA KEHITTÄMINEN	RAKENTAMINEN	KÄYTTÖ JA YLLÄPITO	PURKAMINEN
----------	-------------------	------------------------------------	---------------------	---------------------------	-------------------

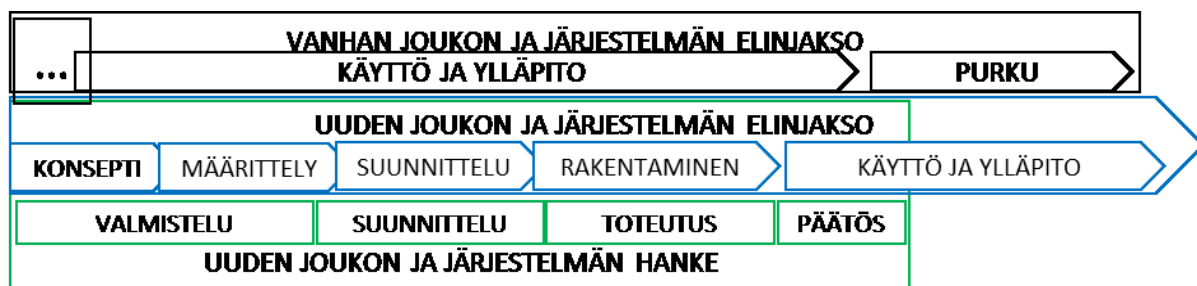
Kaavio 5: Puolustusvoimien ohjeistuksen mukainen elinjaksomalli [11]

Vertanen tiivistää diplomityössään puolustusvoimien mallin kolmeen vaiheeseen: varhaiset vaiheet, rakentaminen ja käyttö ja ylläpito [28]. Malli on pelkistettynä erittäin looginen ja kuvaa hyvin erilaisten mallien kokonaisuutta enemmän toimintaan perustuen. Varhaiset vaiheet ovat suunnittelua, neuvotteluita ja asiakirjojen pyörittelyä. Rakentaminen on selkeästi näkyvää joihinkin päätöksiin perustuvaa toteuttamista. Käyttö ja ylläpito ovat sitten pitkän aikavälin jatkuvaa asioiden toistamista ja aikaisempien valintojen toteuttamista.

”Suorituskyvyn elinjakson hallinta” -opas, puolustusvoimien ohjeet ja Naton elinjaksokustannus oppaat pyrkivät ohjaamaan elinjaksonhallintaa seuraavaan suuntaan:

- Suorituskyvylle luodaan suunnitteluvaiheessa yhtenäinen kuva elinjakson vaiheista ja aikatauluista [21]. Elinjaksonhallinnan tueksi luodaan elinjaksosuunnitelma ja elinjaksomalli. [11]
- Elinjaksoauditoinneilla luodaan tarvittava tuki elinjaksopäätöksen tekemiseksi, siirtäessä elinjakson vaiheesta seuraavaa. [11]
- Puolustusvoimissa suorituskykyä kehitetään hankkeiden avulla. [31]
- Kustannusrakenteen ja oleellisten kustannustekijöiden selvittäminen auttaa hahmottamaan elinjaksokustannuslaskentaa. [22]
- Epävarmojen tietojen pohjalta tehdyt oletukset tulee kirjoittaa selkeästi esille, jotta niistä tehtyjä riskiarvioita voidaan tarkastella olettamusten valossa. [22]

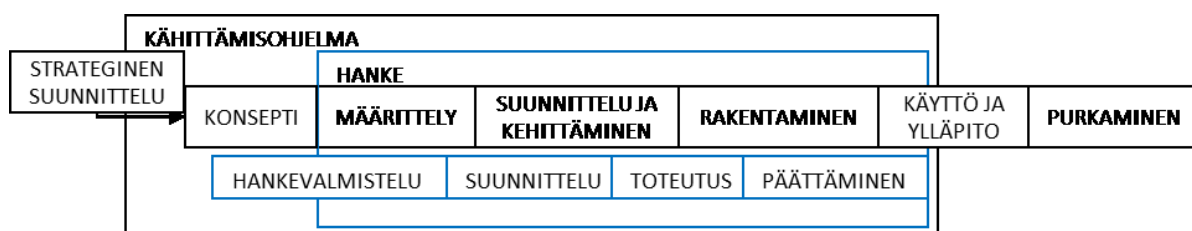
Elinjaksonhallinnan ensimmäisiä tavoitteita on luoda suorituskyvyn hankkeelle yhtenäinen kuva elinjakson vaiheista ja niiden aikatauluista [21]. Puolustusvoimissa ja muissa sotilaallisissa organisaatioissa puhutaan usein suorituskyvyn elinjaksosta (Kaavio 6). Tämä tarkoittaa sitä, että erilaisista osajärjestelmistä muodostuvien järjestelmien suorituskyky ei koskaan putoa vaaditun tason alapuolelle. [33] Kun jonkun järjestelmän elinjakso alkaa olla purkuvaiheessa, on jo korvaava järjestelmä rakennettu rinnalle. Kokonaisuudessa on hyvä huomioda, että puolustusorganisaatio vaatii ja kehittää toimintaa poikkeusoloja varten, jolloin suorituskyvyn oma-varaisuus, omistettavuus ja kustannukset ovat pitkienkin elinjaksojen aikana hallittavissa ja suorituskyky ei putoa vaatimusten alapuolelle [21].



Kaavio 6: Suorituskyvyn elinjakso koostuu joukkojen ja järjestelmien elinjaksoista ja niitä kehittävästä hankkeista, muokattu lähteistä [11]

Elinjaksonhallinta koostuu elinjaksosuunnitelmasta, elinjaksoauditoinneista, elinjaksopäätöksistä ja elinjaksokustannuslaskennasta. Suunnitelmassa määritetään elinjaksomalli, minne suunnitellaan auditoinnit ja elinjaksojen vaiheiden päätökset. Elinjaksokustannuslaskentaa tehdään mallin kaikissa vaiheissa ja päätösten yhteydessä pohditaan prosessin edellytyksiä siirtyä seuraavaan vaiheeseen. [11]

Sotilaalliset organisaatiot harvemmin rakentavat itse täysin uutta, vaan suunnittelun ja rakentamisen sijaan voidaan järjestelmät hankkia valmiina [30]. Puolustusvoimissa hanke ja elinjakso malli ovat tiiviisti yhteydessä toisiinsa ja usein mielletäänkin hanke osana elinjaksoa tai toisin päin. Hanke on kuitenkin elinjakson rinnakkainen prosessi, mikä hyödyntää ja toteuttaa elinjakson vaiheita kumpaankin suuntaan. Puolustusvoimissa suorituskkyä kehitetään, ylläpidetään tai tutkitaan hankkeiden avulla. Tyypillisesti hanke alkaa konseptivaiheessa ja päättyy kun järjestelmä on otettu käyttöön täysimääräisesti. [21] Koska puolustusvoimat kouluttavat myös rajavartiolaitoksen johtavat virkamiehet, on rajavartiolaitoksessa toteutettu hankkeita puolustusvoimien mukaisten ohjausten ja oppien mukaisesti. Tutkimuksen kannalta on oleellista tunnistaa hanke osana elinjaksoa (Kaavio 7).



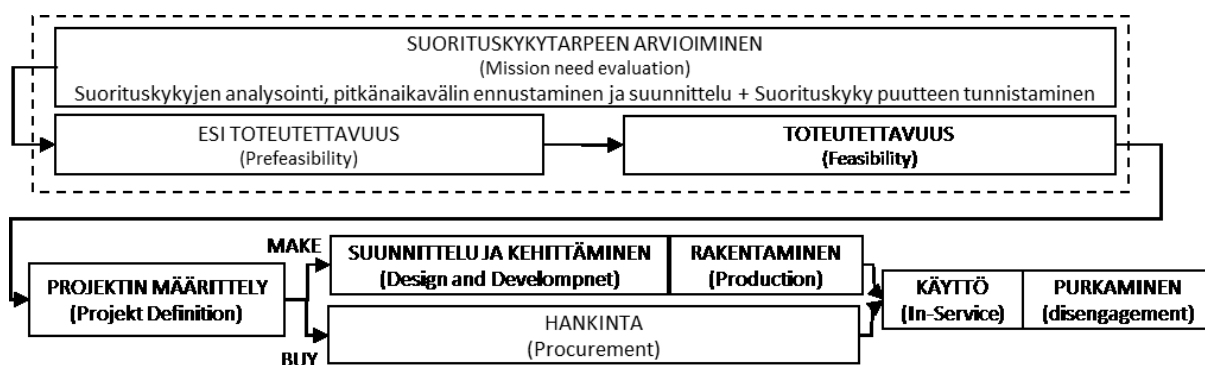
Kaavio 7: Puolustusvoimien elinjaksonhallinta, muokattu [11]

Puolustusvoimien normi HN917 liitteessä 3 elinjakso kustannuslaskelma on kuvattu selkeästi laskentamallin avulla. Laskentamalliin luodusta ohjesivusta käyttäjälle selviää elinjakso kustannuslaskelma pääpiirteittäin. Tätä mallipohjaa voi hyödyntää muokkaamalla mallin otsikoita ja rakennetta vastaamaan toteutettavan hankkeen tavoitteita. Liitteessä käyttäjälle on annettu valmis kustannusrakenne - CBS (cost brake structure). [11] Puolustusvoimien valmis mallipohja ei varsinaisesti luokittele kustannuksia elinjakson vaiheiden perusteella vaan mallipohjaan kirjataan kustannukset koko elinjakson ajalle. Kustannus merkitään kyseiselle vuodelle, kun kustannus syntyy sinä arvona, kun se tulevaisuudessa maksetaan.

Naton oppaassa kustannusrakenne on luokiteltu elinjakson vaiheiden mukaisesti. Näin ollen kustannuksista voi vertailla paljonko tarkasteltavat kulut ovat suunnittelu- tai rakentamisvaiheessa. Naton oppaan mukaan käyttäjä itse rakentaa kustannusrakenteen ja antaa tavoitteeksi rakenteen helpon muokattavuuden ja oleellisten kustannustekijöiden löytämisen. [22]

Sotilaallisista oppaista nousee keskeiseksi epävarmuus ja riskin sieto kyky. Matemaattisten laskureiden, tilastotieteen ja simuloinnin avulla elinjaksonhallinnan riskit ja epävarmuudet voidaan havaita. Tiedossa oleviin riskeihin voidaan varautua resursseilla tai korvaavilla järjestelmillä ja riskiarvion jälkeen merkityksettömät riskit voidaan hyväksyä [22]. Elinjakso kustannuslaskentaa on annettu monia menetelmiä ja työkaluja ja niitä pitäisi hyödyntää päätöksenteossa. [10]

Naton menettelyohjeen (2009) mukaan elinjakson vaiheet ovat: konsepti, kehitys, tuotanto, käyttö, tuki ja purku. Menettelyohje puolestaan perustuu aikaisempaan Naton tutkimukseen (2007) julkaistuun malliin: suorituskykytarpeen arviointi, esitoteutettavuus arviointi, toteutettavuus arviointi, projektin määrittely, osta tai valmista vaihe, käyttö ja purku (Kaavio 8). Merkittävänä erona muihin malleihin elinjakson aikana pohditaan toteutettavuutta. Nämä vaiheet voisi sisällyttää puolustusvoimien strategisen suunnitteluun, vaikkakin termeinä ja kuvauksina liittyvät enemmän päätöksen tekoon. Naton tutkimuksen mukaan toteutettavuus vaiheiden lopputuloksena ovat päätökset voidaanko suorituskykytarve toteuttaa erilaisten vaiheiden kautta. Nopeasti ajateltuna Naton suunnittelu leikittelee kolmen ensimmäisen vaiheen ympärillä, kunnes idealle saadaan toteutettavat perusteet. Tämä kokonaisuus vastaa ”tiivistetysti” konseptia tai puolustusvoimien strategista suunnittelua. [10]



Kaavio 8: Naton oppaiden elinjakson vaiheita [10]

Kaavio 8 Naton ohjeistuksessa halutaan korostaa myös ostamisen ”Hankinnan” vaihtoehtoa elinjaksomallissa. Kaikkea ei tarvitse tai pysty suunnittelemaan ja rakentamaan itse, vaan järkevillä ja valmiilla tuotteilla voidaan korvata puuttuva suorituskyky. Kun järjestelmä on valmis, sen elinjakso kustannukset voidaan laskea tarkemmin ja paremmin, kuin vasta suunnitteluun menevän järjestelmä. Naton ohje korostaakin hankinnan hyötyjä, kun pohditaan budjettia tai elinjakso suunnitelmaa. Hankinnassa täytyy huomioda, että valmis järjestelmä todella vastaa aiemmin esitettyjä vaatimuksia, koska sen muuttaminen voi olla edellisiä haasteellisempaa ja kalliimpaa. Kun vaihtoehtoisia järjestelmiä on monta, pitää hankkijan osata vertailla tuotteita parhaan mahdollisen lopputuloksen saamiseksi [10]. Hankinnassa pitää osata huomioda myös järjestelmän omavarainen huoltaminen ja tuki tai niistä tehdyt sopimukset. [10]

3.2. Elinjaksonhallinnan johtaminen

Elinjaksoauditoinnit ja elinjaksopäätökset ovat merkittäviä toimintoja suorituskyvyn elinjaksonhallinnan kannalta. Elinjaksoauditointi ja elinjaksopäätös tehdään elinjakson vaiheiden välillä. Elinjaksoauditoinnin tavoitteena on muodostaa riittävä tilannekuva elinjaksonhallinnasta

ja siten käynnissä olevasta tilanteesta päätöksiä tueksi. Elinjaksoauditointia seuraa elinjakso-päätös. Elinjaksopäätöksen perusteella joko siirrytään seuraavaan elinjakson vaiheeseen, kor-jataan elinjaksoauditoinnista löytyneet merkittävät virheet tai keskeytetään järjestelmän elin-jaksonhallinnan eteneminen. [11]

Auditointi on tilanteesta riippumattomien henkilöiden systemaattista tarkastustoimintaa, jossa selvitetään toiminnan ja tehtyjen valintojen asianmukaisuutta ja laatua elinjakson vaiheelle ase-tettujen vaatimuksiin verraten [21]. Auditoinnilla pyritään löytämään virheitä tai puutteita toi-minnasta (poikkeamia), jotta toimintaa voidaan ohjata oikeaan suuntaan. ”Suorituskyvyn elin-jakson hallinta” -oppaan liite 5 ja ”Joukon ja järjestelmän elinjakson hallinta” -ohjeen liite 4, kuvaa elinjaksoauditoinneille vaiheittain vaadittavia tyypillisiä tarkastuskohteita. Pyrkimyksenä tarkastuskohteilla on selvittää elinjakson vaiheeseen annettujen ohjeiden ja suunnitelmien noudattaminen tarkastamalla asiaankuuluvien dokumenttien olemassaolo ja sisältö. [11]

Edellä olevat kappaleet kuvaavat puolustusvoimien ohjeiden mukaista käytäntöä elinjakson vaiheesta toiseen siirryttäessä. Myös muut lähteet korostavat päätöksen teon merkitystä ennen siirtymistä elinjakson vaiheesta toiseen. Standardi 24748-1:2018 kuvaa menettelyä päätöksen-teko porteiksi (decision gates) Vastaavalla tavalla siirryttäessä elinjakson vaiheesta toiseen tu-lee verrata elinjakson vaiheen vaatimuksia toteutuneeseen toimintaa. Päätöksen vaihtoehdot ovat: aloita seuraava vaihe, jatka vielä tätä vaihetta, mene edeltävään tai aloita tämä vaihe uu-delleen, keskeytä projektin toiminta tai lopeta projekti. [20] Naton ohje kuvaa päätöksentekoa eri vaiheissa siitä saatavan kaiken tiedon tukemana. Tarvittaessa päätösten pitää olla julkia ja esimerkiksi kustannusten nousu voi aiheuttaa kokonaan toisen vaihtoehdon toteuttamisen. Na-ton ohje korostaa riskien ja olettamusten vaikutusta kustannuslaskentaan ja siten laskelman merkitystä elinjaksopäätöksiä tehdessä. [22]

Elinjaksoprosessi ajattelussa lopputuotteet vaikuttavat seuraavan vaiheen toteuttamismadholli-suuksiin. Näin ollen prosessien mukainen elinjaksonhallinta mahdollistaa oikeiden tietojen kä-sittelyn oikeassa vaiheessa ja siitä laadittavat dokumentit vastaavat elinjaksonhallinnan vaati-muksia. [17] Tämän takia standardin 15288:2015 hyödyntäminen elinjaksonhallinnassa mah-dollistaa auditointien ja päätösten vakioituneen ja siten laadukkaan toteuttamisen.

Vertasen diplomityössä on osattu nostaa esille konfliktit ja ristiriidat elinjaksonhallinnan ja etenkin elinjaksokustannuslaskennan osalta. Konflikteita ei varmasti välttyä missään suunnit-telupöydässä ja ne tulisikin pystyä tunnistamaan ja analysoimaan. Konflikti voi olla hankeryh-män sisäinen, ostajan ja toimittajan välinen tai hankeryhmän ja muun organisaation välinen.

Vertanen antaa keinoksi hyvän sidosryhmäanalyysin tekeminen, jotta kustannusten tarkasteluun saataisi alusta-asti sitoutettua erilaiset toimijat, joilla voi olla erilaisia näkemyksiä ja intressejä kustannusten muodostumisesta. Vertanen korostaa vielä informaation jakamisen merkitystä epävarmuuden välttämiseksi. [28]

3.3. Elinjaksokustannuslaskenta

Elinjaksokustannuslaskentaa pitää suorittaa elinjakson jokaisessa vaiheessa. Parhaimmillaan elinjaksokustannusten laskemisen tulisi olla järjestelmän omistavan organisaation hallinnassa. Kustannuslaskentaa voi toki ostaa myös palveluna, mutta omistajuus tulee säilyttää organisaatiolla.

Kustannuslaskennan omistajan tulee pystyä vastaamaan seuraavista asioista [10]:

- Elinjaksokustannuslaskenta noudattaa päivitettyä elinjaksosuunnitelmaa.
- Elinjaksokustannuslaskenta tukee päätöksentekoa vankalla ja uskottavalla laskelmalla oikea-aikaisesti.
- Elinjaksokustannuslaskenta on itsessään asianmukainen, toimiva ja tukee elinjakson vaatimuksia.
- Todentaa olettamukset ja kykenee tekemään muutoksia projektiryhmän vaatimusten mukaan.
- Antaa tukea riskianalyysin merkittävyyden arviointiin, etenkin kustannusten osalta.
- Raportoi säännöllisesti kustannushallintaprosessin vaiheista sujuvan toiminnan varmistamiseksi.

Elinjaksokustannuslaskennan merkitys monimutkikkaissa ja pitkien elinjaksojen omaavissa järjestelmissä on korostunut, kun jo 1980-luvulla huomattiin, ettei hankintahinta pelkästään kerro kaikkea tarvittavaa rahaa, joka järjestelmää varten todella tarvitaan [18]. Ongelmana ei nykyisen tekniikan osalta välttämättä ole tarjolla olevien järjestelmien määrä tai laatu, vaan kokonaisuudessa pitäisi osata hallita pitkien aikavälien kustannusten hallitseminen [19].

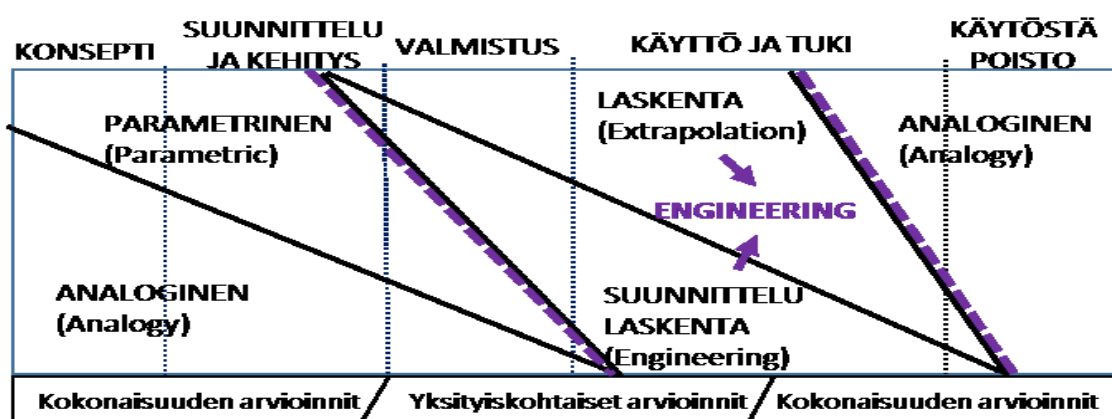
Elinjaksokustannuslaskennassa tulee huomioida markkinatalouden vaikutukset elinjaksokustannuksen suuruuteen. Yhä enemmän yritysten, kuten myös puolustusvoimienkin, pitäisi huomioida markkinatilanteiden muutokset elinjaksokustannuslaskennassa. Rahanarvon muutokset kuten inflaatio ja deflaatio, sijoitetun pääoman korko ja materiaalin hintakehitykset vaikuttavat koko elinjakson ajan ja asettavat kustannuslaskennalle haasteita. Haasteet ja muutokset pitäisi pystyä havaitsemaan, jotta välttyttäisiin suurilta yllätyksiltä. [18] Diskonttaamalla, eli tulevaisuudenarvon muuttamisella nykyarvoon, voidaan parhaiten arvioida elinjaksokustannuksia nykyarvossa [10]. Diskonttausta voidaan tehdä eri talousennusteilla, jolloin kustannusten herkkyyys

näkyä lopputuloksessa. Edellä olevien muuttujien arviointi korostuu, kun tehdään suuria investointeja lainarahalla ja järjestelmän elinjaksot ovat pitkiä. [18]

Yleisesti elinjaksokustannuslaskentaa ei tulisi käyttää budjetin määrittämisessä [18], mutta hyvin laadittuna toimii apuna budjetin laatimiseen, kun kustannukset pystytään pitämään esillä [12].

3.4. Elinjaksokustannuslaskennan menetelmät

Elinjaksokustannuslaskennassa on yleisesti hyväksytty neljä menetelmää (Kaavio 9). Suunnittelukustannusten laskeminen (Engineering cost's), kustannusten laskeminen (Cost accounting), analogia (analogy) eli vastaavuuksien hyödyntäminen sekä parametrinen (parametric) eli tilastotieteellinen vertailu matemaattisesti. [22] Uusimmissa lähteissä lukumäärä on pudotettu kolmeen johtuen kahden ensimmäisen menetelmän samankaltaisuudesta, tätä kolmatta menetelmää kutsutaan ”Engineering” -menetelmäksi [34]. Luotettavamman elinjaksokustannuslaskelman saamiseksi tulisi verrata vähintään kahta eri menetelmällä saatua arviota [22]. Nykyaikaiset simulaattorit ja kustannuslaskurit hyödyntävät edellä mainittujen menetelmien rinnakkaista lopputulosta, jolla voidaan varmistaa elinjaksokustannuslaskelman luotettavuus. [19]



Kaavio 9: Erialaisten laskentamenetelmien hyödyntäminen elinjakson vaiheissa, muokattu lähteistä [22]

Kaaviossa 9 on esitetty laskentamenetelmien hyödyntäminen elinjakson vaiheissa. Analoginen ja parametrinen menetelmät ovat yleisesti käytössä järjestelmän elinjaksokustannuslaskelman elinjakson ensimmäisissä vaiheissa [10] ja engineeringin menetelmää voidaan hyödyntää etenkin hankintojen yhteydessä, kun kustannukset ovat tarkemmin selvillä. [34]

Analoginen -laskentamenetelmä

Analoginen kustannusarviointi perustuu samanlaisen järjestelmän jo tiedossa olevien kustannusten hyödyntämiseen uuden järjestelmän elinjaksoa suunniteltaessa. Kun jokin järjestelmä

on elinjaksonsa aikana maksanut tiedossa olevan summan rahaa, voidaan sitä verrata vastaavanlaisen uuden järjestelmän kustannuksiin. [19] Analogisessa arvioinnissa verrataan kahden järjestelmän kuntoa, aikaa, samankaltaisuutta ja erialaisuutta. Näille muuttujille arvioidaan kertoimet ja kustannuslaskelma voidaan toteuttaa kertomalla. Arvio voi olla epätarkempi kokonaisuuksien kertominen tai pienempien osatekijöiden kertominen omilla kertoimillaan. Taustalla pyrkimyksenä vastaavanlaisen järjestelmän datan hyödyntäminen. [34]

Esimerkiksi Do228 hankittiin vuonna 1995 ja kahden ilma-aluksen hinnaksi tuli kymmenen miljoona euroa (nykyinen hinta). Vuonna 2010 valvontajärjestelmä päivitettiin noin 6 miljoonalla [35]. Mikäli suhteutetaan näitä hintoja nykyisiin, voitaisi kertoimeksi asettaa esimerkiksi kaksi ja näin olettaa hankintahinnaksi noin 20 miljoonaa ja päivityksiin tulisi varata 12 miljoona. Todellisuudessa analogia on tarkempaa ja vaatii analyyttistä pohdintaa mitkä kertoimet pitävät paikkaansa. Tässä tutkimuksessa hankintahintaa, vikaantumista ja määräaikaishuoltoa tarkastellaan analogisella tarkastelulla, jossa toteutuneiden tilastojen perustella tehtyt laskelmat vastaavat sellaisenaan korvaavaa ilma-alusta. Eli se mitä on toteutunut, toteutuu myös jatkossa.

Parametrinen -laskentamenetelmä

Parametrinen kustannusten arviointi perustuu matemaattisiin malleihin ja laskureihin, joissa käytetään muuttuvia parametreja [19]. Tilastotieteen ja tarkkaan laadittujen muuttujien (parametrien) vaihtelulla pystytään arviomaan lopputulosta erilaisten arvojen avulla [34]. Herkkyyksien analysointi ja muuttujien suhde toisiinsa antaa kohteesta riippuen luotettavan tai suuntaa-antavan kuvan kustannuksista samalla nähdessä muuttujien vaikutus kustannuksiin [34]

Parametrissa elinjakso-kustannuslaskentaa voidaan hyödyntää parhaiten tuotteen elinkaaren alkuvaiheissa, kun mitään historiaa tai konkreettisia kustannuksia ei ole vielä syntynyt [19] Etuna analogiseen vaihtoehtoon, useiden muuttujien käyttäminen luo vakaamman kuvan elinjakso-kustannuksista, kun yhden muuttujan vaihtaminen kerrallaan ei johda koko laskelman vääristymään. Suurimpana vaarana on väärin parametrien käyttäminen. Kun elinjakson myöhemmässä vaiheessa verrataan käytettyjä parametreja ja todellista dataa, voi asetettu parametri olla täysin väärä ja siten tulevat kustannukset eroavat lasketuista kustannuksista. [34] Tämän takia kustannuslaskentaa pitää pystyä päivittämään jatkuvasti todenmukaisemmilla muuttujilla.

Tässä tutkimuksessa laskennan tulosta pystyy muuttamaan seuraavien muuttujien vaihtelulla: polttoaineen hinnan muutos, diskonttokorko, henkilöstöpalkan muutos ja materiaalin yksikköhintojen muutos. Muuttamalla parametreja voidaan tarkastella niiden vaikutusta koko elinjakso-kustannukseen.

Engineering -laskentamenetelmä

Järjestelmän kokonaiskustannusten laskeminen ”Engineering Buildup” tai ”bottom-up” arviointi voidaan toteuttaa vasta siinä vaiheessa, kun järjestelmä on kehitetty ja sen tuotanto on käynnissä [10] tai kun ollaan hankkimassa järjestelmää, jonka kustannukset ovat tiedossa [34]. Tällä menetelmällä insinööri laskee kaikki tiedossa olevat kulut yhteen mutterista aina asennustuntien määrään asti. Tämä laskentatapa on tarkin, mutta vaatii jo olemassa olevan järjestelmän tarkan tarkastelun. Tietokoneohjelmistot mahdollistavat tarkat kustannuslaskelmat. Kun laskuri on tehty, pystytään sitä päivittämällä laskemaan yksittäisten elementtien elinjaksokustannukset tai koko järjestelmän elinjaksokustannukset tehokkaasti elinjakson kehittymisen mukana. [19]

Tässä tutkimuksessa muun muassa vikaantumista laskettiin tarkkojen arvojen summana. Vikaantumisesta aiheutuu työaikakustannuksia ja materiaali kustannuksia. Summaamalla edellä mainitut kulu muodostuu selkeä elinjaksokustannus siitä mitä edellisestä järjestelmästä on maksettu. Tässä tutkimuksessa ei laskettu toiminnan keskeytymisestä aiheutuneita kustannuksia.

Simulointi -laskentamenetelmä

Simulaattoreilla ja matemaattisilla mallinnuksilla saavutetaan ennennäkemättömiä hyötyjä. Menetelmät ovat kuitenkin samat. Simulaattoreita käytetään etenkin korkean tason konsepteissa ja niiden elinjaksokustannuksia mitattaessa. Simulaattorin hyötyjä on useita pelkän elinjaksokustannusten laskemisen lisäksi: Riskiarviointi, operaatio analyysi, järjestelmän pilotointi ja käyttökonseptin testaaminen voidaan toteuttaa simulaattorilla. Simulaattorilla pystytään laskemaan kustannusten suhdetta hyötyyn erilaisten muuttujien ja riskien avulla. [19]

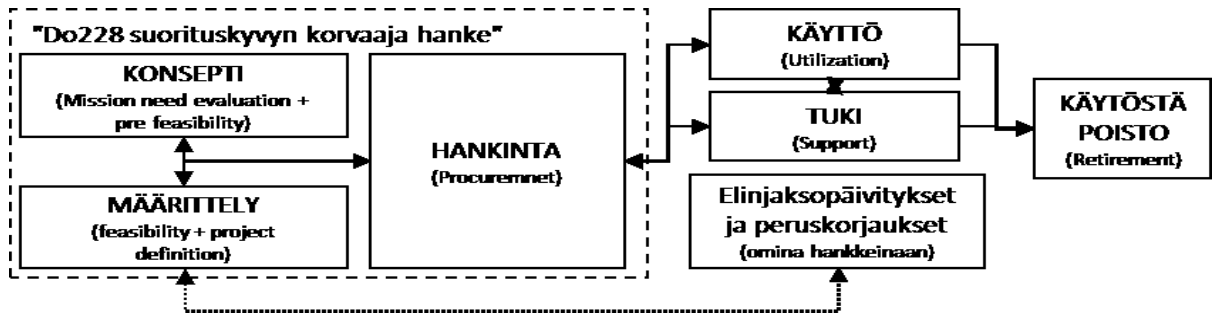
Simuloinnin ja matemaattisen mallinnuksen tärkein vaihe on simulaattorin ohjelmointi ja sen käyttöön hyväksyntä. Ohjelmistoyritykset ja ohjelmoijat pystyvät määrittelyiden mukaan rakentamaan käyttökelpoisen simulaattorin, mutta sen toiminnallisuus täytyy pystyä varmistamaan. [19] Simulaattori voitaisi nähdä elinjaksoa mahdollistavana järjestelmänä, jolla on oma elinjaksonsa. Näin ollen elinjaksonhallinnan kannalta simulaattorin pitää olla valmiina oikeaan aikaan, kun sitä tarvitaan. [20]

Simulaatio-ohjelman ollessa valmis, pystyy sitä lähes kuka tahansa käyttämään pienellä koulutuksella. Simulaattorilla pystytään ajamaan monimutkikkaita laskutoimituksia nopeasti ja useita kertoja. Tarvittaessa asioista pystytään tekemään yksinkertaisempia ja helpommin hahmotettavia kokonaisuuksia. Simulaattori harvemmin tuottaa kuluja sen käytön aikana, jolloin sitä voidaan pitää edullisempänä, kuin esimerkiksi testata samoja asioita kokeellisesti todellisilla järjestelmillä. Huonoja puoliakin löytyy. Simulointi ei paljasta kaikkea ja tuloksiin pitää

pystyä suhtautumaan realistisesti. Simulaattori kertoo vain sen mitä siltä on osattu suunnitella-
essa pyytää ja päivittäminen voi olla vaikeaa ja aikaa kuluttavaa. [19]

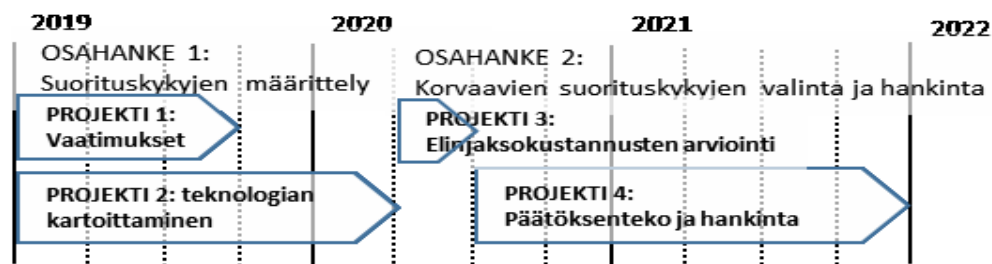
3.5. Elinjaksonhallinta tässä tutkimuksessa

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan elinjaksonhallintaa seuraavan mallin avulla (Kaavio 10). Mallin tarkoituksena on näyttää elinjakson keskeiset vaiheet ja kuvata vaiheiden tärkeimmät päätökset ja tuotteet, jotta elinjaksokustannukset olisivat helposti laskettavissa.



Kaavio 10: Tutkijan muodostama malli valvontalentokoneen elinjakson vaiheista

Hanke on yleinen tapa suunnitella ja toteuttaa järjestelmän rakentaminen silloin, kun lähdetään ostamaan jo valmiita järjestelmiä suorituskyvyn saavuttamiseksi [10]. Valvontalentokoneen suorituskyvyn korvaaja hankkeella pyritään löytämään mahdollisimman soveltuva ja kustannustehokas suorituskyky poistuvan suorituskyvyn korvaajaksi [1]. Puolustusvoimissa ja rajavartiolaitoksessa on tyypillisesti menty hanke edellä [21]. Hankkeen vaikuttavuuden takia ongelmia saattaa syntyä konsepti-, määrittely-, ja hankintavaiheen selkeissä rajapinnoissa. Konseptit ja määrittelyt elävät rinnakkain projektien sisällä ja hankintavaiheessa päätöksenteon tuotteet voivat olla enemmän projekti keskeisiä, kuin elinjaksokeskeisiä. Tässä tilanteessa tulee erityisesti muistaa suunnitteluvaiheen merkitys osana kustannuksia ja elinjakson seuraavia vaiheita. Kaavio 11 on esitelty hankeen toimeenpanossa määritellyt projektit ja niiden aikataulu tässä projektissa. Kuten kaaviosta huomaa ei siinä ole eritelty konseptin, määrittelyn ja hankinnan vaiheita vaan kokonaisuus perustuu hankkeen toteuttamiseen.



Kaavio 11: Suorituskyvyn korvaaja -hankkeen toimeenpano [1]

Elinjaksokustannukset voidaan laskea kaavan 4.1 mukaisten osakustannusten summana. Todelisuudessa ongelmat syntyvät juurikin noiden osakustannusten laskemisesta ja todenmukaisuudesta. Sen takia kustannuksia pitää laskea tarkentavilla menetelmillä. [18]

$$LCC_{valvontalentokone} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \quad (4.1) [18]$$

missä:

C_1 on konsepti & määrittelyvaiheen kustannukset

C_2 on hankintavaiheen kustannukset

C_3 on käyttö- ja tukivaiheen kustannukset

C_4 on elinjaksopäivitysten kustannukset

C_5 on purkamisen kustannukset

3.5.1. Konsepti- ja Määrittelyvaihe

Konseptivaihe

Elinjaksomallin konseptivaiheessa määritellään suorituskyyvylle tai sen järjestelmälle perusteet. Perusteista oleelliset liittyvät resursseihin, aikatauluihin ja reunaehtoihin. Elinjaksonhallinnan kannalta konseptissa laaditaan aikataulut ja kuvaukset suorituskyyvyn rakentamiselle, käyttämiselle, mahdollisille päivityksille ja purkamiselle. Konseptivaihe on merkittävä osa hankkeen valmistelua. [11]

Usein jo ennen konseptia pitemmällä aikajänteellä on kuvattu mitä puutetta varten suorituskyykyä halutaan kehittää. Sotilaallisessa ympäristössä suunnittelu lähtee uhkien ja niiden riskien kartoittamisesta [10]. Yritysmailmassa uhka voi olla enemmän visio tai missio tulevasta rikastumisesta [20]. Mikäli aiempaa strategista suunnittelua ei ole hyvin dokumentoitu, voi ja pitää konsepti vaiheessa muodostaa käsitykset miksi suorituskyykyä ollaan rakentamassa ja mitä ensisijaisia vaatimuksia sille on asetettu. Näillä esitiedoilla voidaan jo alkuvaiheessa suunnitella suorituskyykyä, joka on toteutettavissa ja suunniteltavissa. [10]

Yleisesti konsepti vaiheessa tehdään käytössä olevien teknologioiden vertailu [11]. Vertailussa selvitetään kaikki mahdolliset vaihtoehdot suorituskyyvyn toteuttamiseksi. Esimerkiksi käynnissä olevan valvontalentokoneen suorituskyyvyn korvaaja konsepteissa pohditaan merivalvontakameroista miehittämättömiin ilma-aluksiin. [1] Suorituskyykyvaatimuksien mukaisista konsepteista valitaan otollisin ja käytössä olevien resurssien tarkalla pohdinnalla pystytään arvioimaan koko hankkeen rahoitusta. Konseptivaiheen päätöksillä on suurimmat vaikutukset elinjaksokustannusten muodostumiseen [11].

Konseptivaiheen lopputuotteena ovat:

- Suorituskykyvaatimukset [1]
- Käyttökonsepti [1]
- Elinjaksosuunnitelman perusteet, materiaalille, henkilöstölle [11]
- Alustava tukeutumissuunnitelma [31]
- Riskien tunnistaminen ja minimointi suunnitelmat eri elinjakson vaiheille [10]
- Hankesuunnitelman luonnos [11]

Suorituskykyvaatimuksilla pyritään ohjaamaan määrittelyä oikeaan suuntaan, jotta hankittava suorituskyky vastaa todellisia tarpeita. Käyttökonseptilla osoitetaan etenkin elinjaksokustannuslaskelmalle, kuinka järjestelmää tullaan käyttämään ja kuinka käyttötunnit kertyvät ja miten huoltoa on ajateltu toteutettavan. Elinjaksosuunnitelma kuvaa missä aikataulussa järjestelmiä otetaan käyttöön, onko tiedossa päivityksiä ja koska järjestelmästä on tarkoitus luopua. [21] Konseptivaiheessa on tärkeä visioida erilaisia konsepteja ja verrata niitä keskenään, tulosten täytyy pysyä vertailukelpoisina ja toteuttamiskelpoisina annettujen reunaehtojen ja suorituskykyvaatimusten puitteissa. [11]

Konseptivaiheessa tehdyn elinjaksokustannuslaskelman tulee tukea konseptin tavoitteita mahdollisuuksien mukaan [22]. Konseptivaiheessa voidaan hyödyntää parametrissa tai analogista menetelmään kustannusten arvioimiseksi [19]. Puutteelliset tiedot voidaan arvioida erilaisten työkalujen avulla, kuten laskentaohjelmistoilla ja -malleilla [22]. Riskin hallinnassa pitää ensinnäkin huomioida ja tuoda piilossa olevat riskit näkyville. Tämän jälkeen riskien minimointi pitää suunnitella elinjakson jokaiselle vaiheelle. [20] Konseptivaiheen elinjaksokustannuslaskelmaa varten Naton ohjeessa on luokiteltu kertoimet mahdollisille kustannusriskeille. Näitä muuttujia tulee käyttää alustavissa laskelmissa, mikäli riski on olemassa. Esimerkiksi monimutkikkaan järjestelmän kustannuslaskelmaan tulee lisätä 7 % kerroin riskien huomioimiseksi, tai mikäli tiedostetaan johtoryhmän heikkous, voidaan lisätä 5 % kustannuksia, koko elinjakso-kustannukselle. [22]

Määrittelyvaihe

Määrittelyvaihe on osa hankinnan valmistelua. Ennen kuin aloitetaan järjestelmien tarkempi määrittely, on tärkeää hyväksyä jo tehdyt suunnitelmat ja niiden toteutettavuus elinjaksoauditoinnilla ja elinjaksopäätöksellä. Hyväksyttyä konseptia tarkennetaan ja vaatimusmäärittelyä sekä elinjaksoa työestetään seuraavaa vaihetta varten [11].

Määrittelyvaiheen lopputuotteena ovat:

- Joukon ja järjestelmien ensisijaiset vaatimukset, alustava järjestelmä arkkitehtuuri ja rajapinnat ovat suunniteltu. [11]
- Joukon ja järjestelmän elinjaksosuunnitelma on tarkennettu. [10]
- Elinjaksokustannuslaskema ja kustannusrakenne on laadittu. [10]
- Tarkat riskiarviot ja niiden vaikutukset elinjaksokustannuksiin. [10]

Joukon ja järjestelmien vaatimukset on tarkennettu tietopyyntöjen (Request for information RFI) tai markkinakartoitusten avulla saatujen teknisten ja taloudellisten perusteiden pohjalta. [11] Tietopyyntöjen osalta pitää huomioida, että joku kaupallisen tahon ammattilainen osallistuu tietopyyntöjen laatimiseen mahdollisten väärinymmärrysten osalta [31]. Arkkitehtuuri ja rajapinnat on suunniteltu siten, että ne ovat edelleen toteutettavissa ja vastaavat tarkennettuja vaatimuksia [20]. Joukon ja järjestelmien tarkat elinjaksosuunnitelmat on laadittu ja niiden toteutusta on pohdittu erilaisten vaihtoehtojen avulla. Samaan kuuluu myös teollisen yhteistyön ja hankintasopimusten suunnittelu. [11]

Elinjaksokustannuslaskelma on tehty hyväksyttävästi ja vaihtoehtoja on vertailtu erilaisten laskentamenetelmien avulla. Elinjaksokustannustenlaskemisessa on osattu huomioida kustannusrakenteen kaikki oleelliset kustannustekijät elinjaksosuunnitelman mukaisesti. Elinjaksokustannuslaskelmassa pitää huomioida riskien vaikutukset kustannusten muodostumisessa. Määrittelyvaiheessa kustannuslaskennassa pitää pystyä laskemaan myös erilaisten suorituskykyjen vaikutukset kustannuksissa. Esimerkiksi suorituskyvyn tuplaaminen saattaa nelinkertaistaa kustannukset elinjakson aikana. [10]

Konsepti- ja määrittelyvaiheen kustannukset

Valvontalentokoneen korvaajan elinjakson voidaan katsoa alkavan hankkeen toimeenpanosta vuodesta 2019. Koska hanke on jo alkanut, on joitakin tarkkoja kustannuksia jo tiedossa. Projektit yksi, kaksi ja kolme ovat pääosin toimistotyötä ja kustannukset elinjakson kannalta ovat kohtuullisen pienet. Projekti neljä pitää sisällään päätöksen ja varsinaisen hankinnan. [1] Tästä projektista muodostuu jo enemmän kustannuksia, kun tarvitaan enemmän suunnittelu-aikaa sekä mahdollisesti kustannuksia syntyy matkustamisesta ja testaamisesta. Projektin 4 kustannukset käsitellään hankintavaiheen kustannuksissa.

konsepti ja määrittelyvaiheen tyypilliset kustannukset ovat [18]:

- Tutkimus ja kehitystyön suorat kustannukset (työkalut, toimistot, materiaalit)
- Suunnittelukustannukset (työaika, matkustus, palkkiot)

- Tutkimus ja kehitystyön testit ja arviointi kustannukset
- Kehitystyön hallinta ja johtamisen kustannukset
- Tarvittavien koulutusten kustannukset
- Muut kustannukset

3.5.2. Hankintavaihe

Kun suorituskypyn elinjakson määrittelyvaihe on hyväksytty elinjaksopäätöksellä, voidaan elinjakson vaiheessa siirtyä hankintavaiheeseen. [11] Hankinnan perusajatuksena on yhteistyö valmistajan kanssa. Kilpailutustilanteessa valmistajiin ollaan yhteydessä vapaammilla tietopyynnöillä RFI, joita voidaan tehdä useita mahdollisen suorituskypyn ominaisuuksia tiedusteltaessa [33]. Puolustusvoimien hankeohje HN918 ohjaa hanketta ja sen liitteestä 1 voi lukea suunnittelu- ja rakentamisvaiheen tuotteet, jotka täsmäävät myös hankinnan tuotteiksi [37].

Keskeisiä hankintavaiheen lopputuotteita elinjaksonhallintaan liittyen on:

- Erittäin tarkka elinjaksosuunnitelma vuosittaisista hankinnoista, operoinnista, tuesta ja päivityksistä koko elinjakson aikana. [10]
- Vaatimusten mukainen ja kustannustehokkain suorituskypy markkinoilta. [10]
- Riskien hallinnan kohdentaminen tiedossa oleville järjestelmille. [10]
- Kaupalliset sopimukset ja päätökset valmistajan tuesta on allekirjoitettu. [11]

Kun hankinta etenee tarjouspyyntöön RFQ (Request for quotation) laatimiseen ja lähettämiseen valmistajille, ollaan jo sitovassa kaupallisessa kilpailutilanteessa [10]. Elinjaksosuunnitelmat tarkentuvat, kunnes tarjoukset ja varsinainen suorituskypy on päätetty hankkia [37]. Hankintaa tukevat päivitettyt elinjaksokustannuslaskemat ja niiden käyttö vaihtoehtoja vertailtaessa auttaa ymmärtämään koko järjestelmän elinjaksokustannuksia [1].

Hankinnassa tärkeintä on tuottaa vaatimusten mukainen tuote ja se pitää pystyä testaamaan [37]. Mikäli vaatimukset täyttäviä järjestelmiä on useita, tulee elinjaksokustannuslaskelma ottaa huomioon parasta suorituskypyä valittaessa [10]. Kaupalliset sopimukset ja valmistajan tai teollisen yhteistyön tulee olla allekirjoitettu. Järjestelmien rakentamisen vaihetta pitää seurata ja ohjata. [21] Ennen kuin siirrytään operointivaiheeseen, tulee järjestelmä hyväksyä käyttöön [11].

Usein ostettaessa valmista tuotetta, on elinjaksokustannuslaskenta helpompaa saatavissa olevien aineistojen ja käyttökokemusten ansioista. Menetelmiä voidaan käyttää runsaasti ja siten

luotettavuus elinjaksokustannuslaskennan tarkkuudesta on parempi. Tietopyynnöissä ja tarjouspyynnöissä voidaan kysyä valmistajalta mitä olettamuksia ja mitä riskejä heidän hinta-arvioihinsa perustuu ja kuuluuko mahdolliseen kauppaan tuotetukea ja miten pitkälle aikavälille. [10]

Riskien todennäköisyydet ja niiden aiheuttamat kustannukset voidaan laskea tiedossa oleville järjestelmille. Mitä vikaantuminen maksaa, kauanko vikaantunut laite odottaa huoltoa ja mitä maksaa viiveiden pienentäminen. Kokonaisuudessaan pystytään laskemaan erilaisia kustannusvaihtoehtoja todennäköisyyksien ja tilastojen perusteella. Näiden laskelmien perustella voidaan ostaa huoltotukea, varalaitteita tai pitempää takuu-aikaa riskien pienentämiseksi. [10]

Hankintavaiheen kustannukset

Hanke jatkuu projektin 4 mukaisesti hankintapäätöksen ja hankinnan tekemisellä [1]. Nämä kustannukset ovat tiedossa vasta projektin loppuvaiheessa. Tyypilliset kustannukset ovat [18]:

- Hankinta kustannus (ilma-alus, valvontalaite, prime hankinta)
- Ensimmäiset koulutuskustannukset
- Hankintaan liittyvät logistiset kustannukset
- Viime hetken suunnittelumuutoksista aiheutuvat kustannukset
- Kertaluontoiset hankintakustannukset (kuten integrointi ja valvontalaitteen asennus)
- Järjestelmän testaamisesta ja hyväksynnästä aiheutuvat kulut
- Varaosien ja -laitteiden esihankinnan kustannukset
- Operointi tai huoltojärjestelmän rakentamisen kustannukset
- Muut hankintakustannukset

Hankintavaiheessa huomionarvoista on, että edellä olevat kustannukset saattavat kuulua yhteen sopimukseen, joka esimerkiksi sisältää: ilma-aluksen järjestelmineen, varaosat seuraavalle viidelle vuodelle, takuun kaikille laitteille seuraavaksi kahdeksi vuodeksi, koulutuksen kymmenehelle ohjaajalle ja 20 mekaanikolle ja niin edelleen. [38] Sen jälkeen kulut voivat olla pelkistetymin seuraavat: hankintakustannus, viimehetken suunnittelumuutosten kulut, järjestelmän testaaminen ja hyväksyntä kulut sekä operointi ja huoltojärjestelmän rakentamisen kulut.

3.5.3. Käyttö- ja tukivaihe

Käyttö- ja tukivaihe muodostavat lähteiden mukaan suuriman osa elinjakso kustannuksista, vaikka ne on aiemmissa vaiheissa hyväksytty edeltävillä päätöksillä [10]. Käyttö- ja tukivaiheissa elinjaksonhallinnassa tarkoituksena on ylläpitää jatkuvaa suorituskykyä siten, että asetetut suorituskyky- ja käytettävyyksivaatimukset täyttyvät [20]. Samalla suorituskykyä seurataan ja tarvittaessa päivitetään muuttuvien olosuhteiden mukaiseksi [11]. Elinjaksonhallinnan näkökulmasta on merkittävää seurata vikaantumisia, ongelmia, puutteita ja poikkeavuuksia, jotta suorituskykyä pystytään tarvittaessa kehittämään ja syntyviä kustannuksia pienentämään [20].

Elinjaksonhallintaan vaikuttavat keskeiset asiat:

- Järjestelmän käytön ja käyttökonseptin päivittäminen tarpeen mukaan. [11]
- Henkilöstön koulutuksen ja osaamisen ylläpitäminen elinjakson aikana. [11]
- Huoltojen suunnittelu ja tulevaisuuden kustannusten ennustaminen käyttökokemuksen tuoman datan avulla, ylläpidetty elinjakso kustannuslaskenta [10]

Järjestelmien pitkien elinjaksojen aikana uhat, vaatimukset ja tehtävätarpeet muuttuvat eikä järjestelmä ole välttämättä suunniteltu muuttuneeseen tilanteeseen. Järjestelmän käyttöperiaatetta voi muuttua tai itse järjestelmä vaatii muutoksia. Mikäli käyttöperiaatteita muutetaan, tulisi elinjaksonhallinnan muuttua siten, että järjestelmä pystyy suoriutumaan sille asetetuista uusista vaatimuksista. Henkilöstön koulutus ja osaamisen ylläpitäminen luovat järjestelmän käytölle ja huollolle vakaan pohjan ja järjestelmää ei rikota käyttäjän virheiden johdosta. [20]

Elinjakso kustannuslaskennan kannalta oleellista on kerätä tietoa operoinnista ja tuesta aiheutuvista todellisista kuluista ja vikaantumisista. Kun riittävä historia on saatu kerättyä, voidaan matemaattisesti laskea ja ennustaa tulevia kustannuksia aikaisempia vaiheita tarkemmin. Mahdollisuudet varastoida oikea määrä varaosia, laskea huollon kestoa ja vikaantumisväliä parantavat ennustettavuutta ja alentavat kustannuksia. [10]

Käyttövaiheen riskit pystytään minimoimaan tarkalla seurannalla ja vaihtoehtoisten tukijärjestelmien suunnittelulla. Riskien hallinnalla ei kuitenkaan voida ohittaa tilastollisia vikaantumisia tai huoltojen yllättäviä löytöjä ja näin ollen huoltokustannusten kasvua. Merkittävä riskien minimointi voi liittyä myös riittävän henkilöstön kouluttamiseen. Ettei yhden henkilön poistuminen vaaranna koko operatiivista tai huollollista kokonaisuutta. [10]

Käyttö- ja tukivaiheen kustannukset

Käyttö- ja tukivaiheen kustannukset muodostuvat seuraavista tekijöistä [18]:

- Epäsuorien tukitoimien kustannukset (laillisuuden valvonta, toiminnan mahdollistaminen, jatkuva lentokelpoisuus ja suunnittelu)
- Suorien tukitoimien kustannukset (laskeutumismaksut, tankkauspalvelut, hallivuokra, ajoneuvot, lupakirjat, koulutukset)
- Kulutukseen perustuvat kustannukset (polttoaine)
- Huoltotoiminnan kustannukset (hallivuokra, laitekustannukset, varaosat, varastointi)
- Henkilöstön palkka ja palkkiot (ohjaajat, päivystys, mekaanikot, suunnittelijat)

3.5.4. Elinjaksopäivitykset, modifikaatiot ja peruskorjaukset

Järjestelmissä joissa käyttöperiaatteiden muuttaminen ei pelkästään riitä halutun suorituskyvyn saavuttamiseksi, joudutaan järjestelmää päivittämään muuttuneiden tarpeiden perusteella. Järjestelmän tulee vastata asetettuja vaatimuksia myös tulevaisuudessa, jolloin elinjaksopäivitysten toteuttaminen voi olla edullisempi, kuin uuden järjestelmän rakentaminen. [39] Syyt järjestelmän päivittämiseen voi olla osajärjestelmien ikääntyminen ja niiden varaosasaatavuuden heikentyminen, uhkakuvan selkeä muuttuminen ja siihen reagointi uusilla suorituskyvyillä, vikaantuvien järjestelmien vaihtaminen uusiin tai muiden tietoteknisten ohjelmistojen päivittäminen. [33]

Ilmailussa puhutaan modifikaatiosta kaikkina muutostöinä, jotka vaikuttavat ilma-aluksen alkuperäisen suunnittelun muuttamiseen. Laitevalmistajat ja ilma-aluksen tyyppihyväksynnän haltijat julkaisevatkin muutosmääräyksiä jopa kuukausittain pienien parannusten tai suurien järjestelmäpäivitysten yhteydessä. Muutosmääräykset voivat olla pakollisia tai ei pakollisia toimintaa ohjaavia määräyksiä. [40] Usein päivitykset liittyvät turvallisuuteen tai käyttäjän työn helpottamiseen uusien innovaatioiden kautta. Järjestelmän omistajan ja etenkin elinjaksoa seuraavan suunnittelijan pitää hyvissä ajoin suunnitella suorituskykyyn liittyvien puutteiden parantamiseen liittyvien modifikaatioiden tai elinjaksopäivitysten toteuttaminen [20].

Ilma-alusten ja ilma-alusten laitteiden huolto on Euroopassa valvottua Euroopan lentoturvallisuusviranomaisen toimesta (EASA, European Union Aviation Safety Agency) EASA valvoo niin ilma-alusten valmistajia ja käyttäjiä ja asettaa ilmailumääräyksiä lentotoiminnan edellytykseksi. Huoltotoiminta on luvanvaraista ja huoltotoiminnan laajuus on porrastettua [41]. Ilma-aluksen elinjaksosuunnitelman valinnoista voi syntyä tilanteita, että huoltotoimintaa tai laitehuoltoa toteutetaan vain valmistajalla tai ostopalveluna ulkopuolisilta huolto-organisaatioilla. Toisinaan suuret huollot ovat niin isoja, että pienellä miesmäärällä tehtynä huollon kesto

venyy kestäättömän pitkäksi, jolloin suuret huollot ja peruskorjaukset ostetaan kaupalliselta toimijalta kilpailutusten perusteella. Usein peruskorjauksen yhteydessä toteutetaan ilma-aluksen modifikaatioita tai päivitetään järjestelmiä omien tarpeidenmukaisesti.

Elinjaksopäivitysten, modifikaatioiden ja peruskorjausten kustannukset

Elinjaksopäivitystenkustannukset kuuluvat useissa lähteissä tukitoimien alle. Ilma-aluksen pitkistä elinjaksosta johtuen ja teknologian kehittymisen ja vanhenemisen johdosta voi olla merkittävää pohtia ja laskea päivityksiä ja niiden kustannuksia irrallaan tukivaiheen kustannuksista. Rajavartiolaitoksella suuret huollot ja elinjaksopäivitykset tehdään omina hankintoinaan ja omien suunniteltujen toimintamenojen alaisena [38]. Suurten huoltojen, modifikaation ja elinjaksopäivityksen kustannusrakenne koostuvat samoista tekijöistä kuin hankintavaiheen kustannukset, mukaan luettuna suunnittelukustannukset [18].

Valmistajan muutosmääräyksistä, AD (Airworthiness Directives) ja SB (Service Bulletins), aiheutuvat kustannukset ovat aina luonteeltaan yllättäviä. Usein kiireelliset määräykset estävät lentotoiminnan jatkamisen ja kustannukset päivitettävillä laitteilla voi olla arvokkaitakin. Conklin & deDecker ohjaakin ilma-aluksen omistajaa varautumaan modifikaatioiden aiheuttamiin kustannuksiin reilusti, jotta lentotoiminta pystyy jatkumaan keskeytyksettä [25].

3.5.5. Purkaminen

Purkaminen ja järjestelmän alasajo pitää suunnitella hyvin ennen vaiheen alkamista. Käytöstä poisto pitää sisällään muun muassa henkilöstön, koulutusjärjestelmän, materiaalin ja sen logistiikan, informaation, organisaation ja itse järjestelmä kokonaisuuden purkamisen [11]. Käytöstä poisto voi aiheutua, kun järjestelmä saavuttaa elinikänsä päätöksen, järjestelmä vikaantuu korjauskelvottomaksi, ei ole enää kustannustehosta jatkaa operointia vanhalla järjestelmällä, varaosien saatavuus heikkenee ja niiden hinta nousee hallitsemattomasti tai uusi järjestelmä korvaa vanhan järjestelmän. Kokonaisuus pitää ajaa alas hallitusti ja määrätietoisesti ylimääraisten kustannusten minimoimiseksi. [20]

Purkamisen kustannukset

Järjestelmän purkaminen aiheuttaa kustannuksia [10]. Poikkeuksena edeltäviin vaiheisiin purettavasta järjestelmästä saattaa saada myydessä myös rahaa ja siten kustannukset purkamisvaiheessa ovat negatiiviset, eli rahaa tulee enemmän kuin kuluu. [22] Purkamisvaiheen kustannuksia Dhillonin oppaassa voidaan laskea myös vikakorjausten, jäännösarvon, hävittämiskulujen ja suhteutetun muuttujan avulla. Näin ollen hävittäminen voikin tulla edullisemmaksi, kuin jat-

kuva korjaaminen tai vikaantumisista aiheutuvien muiden kulujen maksaminen. Vikaantumistaan laitteen suorituskyky joudutaan korvaamaan jollakin, mikä ei välttämättä ole yhtä kustannustehokasta, kuin tarkoitusta varten suunniteltu järjestelmä. [18]

3.6. RAM-analyysimenetelmän hyödyntäminen elinjaksonhallinnassa

Luotettavuus-, käytettävyys-, ja huollettavuuslaskenta ovat merkittäviä arviointimenetelmiä uuden tai ylläpidettävän järjestelmän elinjaksonhallinnassa. [18]. RAM-analyysimenetelmä (reliability, availability, ja maintainability) tuo esille järjestelmän kyvykkyyden arvioinnin ja siten mahdollisuuden arvioida järjestelmien kannattavuutta rahalliseen panostukseen nähden. Muuttujat huomioimalla voidaan todentaa erilaisten kustannusten synty ja varautua niiden riskeihin ja muutoksiin. RAM-menetelmän hyödyntäminen korostuu elinjakson alkuvaiheissa, kun tehdään päätöksiä suorituskyvyn vaikutuksia arvioitaessa. [39]

Luotettavuuden ja käytettävyyden tarkasteluilla osataan valita optimaalinen määrä järjestelmiä ja varalaitteita jatkuvan operoinnin mahdollistamiseksi. Huollettavuutta tarkastellessa voidaan havaita kriittiset pisteet, mitä ja miten huoltotoimintaa tulisi kehittää paremman käytettävyyden ylläpitämiseksi. Järjestelmän suunnittelussa modulaarisuudella, kahdentamalla ja laadukkailla järjestelmillä parannetaan luotettavuutta. Kun taas varaosien, työkalujen, huoltohenkilöstön resursseinneilla parannetaan huollettavuutta. [42]

Keskeinen osa RAM-menetelmän luotettavaa hyödyntämistä perustuu kerätyn aineiston tarkkuuteen. Elinjaksonhallinnassa tulisi huomioida vikaantumisten, korjausaikojen, varaosakulutuksen ja viiveiden kokonaisuutta ja raportointia, jotta käyttö- ja tukivaiheessa pystytään ennakoidaan riskit ja hallitsemaan epävarmuuksia mahdollisimman hyvin. [39] Tämän takia johdon tulee vaatia ja seurata huollon kestoa, vikaantumisia, korjausaikoja ja niistä muodostuvia kustannuksia tarkemman tulevaisuuden suunnittelua varten.

Tutkimuksessa esitellään termit seuraavassa järjestyksessä. Luotettavuus, huollettavuus ja käytettävyys. Tarkastelu järjestys johtuu käytettävyyden luonteesta, joka saadaan parhaiten lasketua silloin, kun tunnetaan järjestelmän luotettavuus ja huollettavuus. Tarkemmat kaavat ja laskenta logiikat on täydennetty liitteeseen 2, jonne on tiivistetty elinjakson suunnittelua hyödyntävät laskentatavat.

Luotettavuutta ja huollettavuutta laskiessa on keskeistä kertoa, millä olettamuksilla vikaantumisista tai korjausaikaa laskuissa käytetään. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan vikataajuutta ja korjaustaajuutta keskimääräisiksi ajoiksi eli jakaumien odotetaan olevan eksponenttialisia.

Oletamus eksponenttialisestajakaumasta on hyväksyttävää matemaattisessa RAM tarkastelussa [39]. Eksponentiaalinen tarkastelussa mallit ovat yksinkertaisemmin hallittavissa ja voidaan käyttää hieman yksinkertaisempia kaavoja [39].

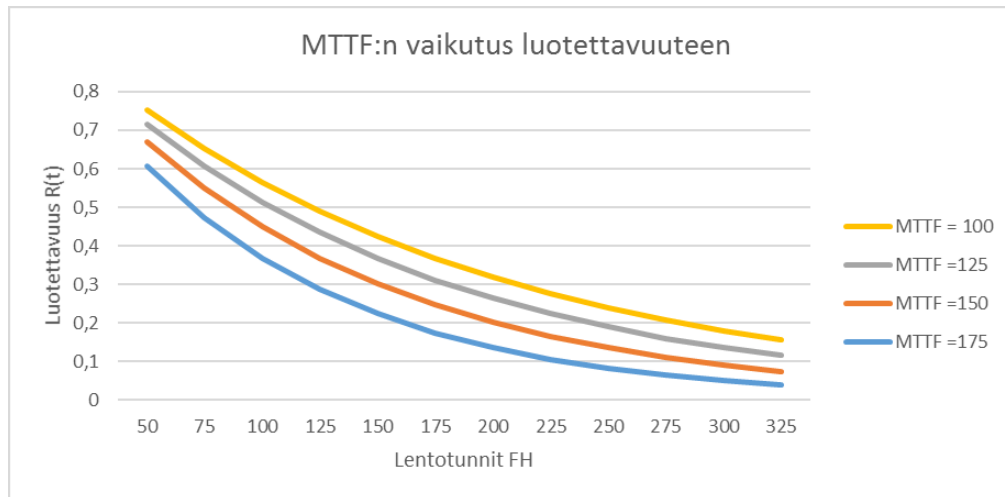
Luotettavuus

Luotettavuus (*R* Reliability) tarkastelu perustuu laitteiden vikaantumisen todennäköisyyden tarkasteluun. Kun järjestelmistä tai sen osista on käyttökokemusta tai niitä on testattu tarpeeksi, voidaan tilastojen perusteella ennustaa laitteiden vikaantumista ja siten niiden luotettavuutta. Luotettavuus ja laitteen vikaantuminen kuvaavatkin toisiaan ja tarkastelulla voidaan määrittää varaosien määrää tai mahdollisesti suunnitella laitteen vaihtoa ja sen huoltoa ennen sen vikaantumista. [39]

Ilmailussa laitevalmistajat ja ilma-alusten tyyppihyväksynnän haltijat joutuvat testaamaan ja arvioimaan laitteiden vikaantumista. Kriittisille laitteille on määrätty maksimi käyttö ikä (service life limit, SLL), peruskorjausvaatimus (overhaul) tai tarkastusvaatimus (inspection). Edellä olevat käyntiaikoihin tai kalenteriaikaan perustuvat vaatimukset ovat pakollisia. Vähemmän kriittisillä osilla vaatimukset laitteen statukselle on ”kunnossa” (On condition), tällöin vasta vikaantunut laite pitää vaihtaa uuteen. [44] Yhteistä laitteilla on kuitenkin se, että ne voivat vikaantua ennen varsinaista huoltojaksoa. Vikatiheyden ja luotettavuuden laskeminen kuuluu siis suunnitteluun ja sillä voidaan ennakoida vikaantumisia ja siten parantaa käytettävyyttä lyhentämällä odotusaikoja, kun varaosat ovat jo hyllyssä. [45]

Vikaantumisen oletetaan yleisimmin olevan eksponentiaalisestijakautuvaa. Tällöin laitteiden oletetaan vikaantuvan tasaisesti, vaikka laite ikääntyisikin. Mikäli vikaantuminen olisi normaali- tai log-noormaalijakautunutta, muuttuisi vikaantumistaajuus samalla kun laite vanhenee ja siten käytettäisi termiä hasarditajuus (hazard rate). [39] Tarkempaan vika-analyysiin voisi hyödyntää myös yleisesti käytettyä kylpyamme vikaantumiskertymää ”bathub hazard rate curve”, jossa järjestelmän alkuvaiheessa vikoja syntyy suunnittelu ja laatu virheistä, ja loppuvaiheessa vikaantuminen kiihtyy kulumisen johdosta [18].

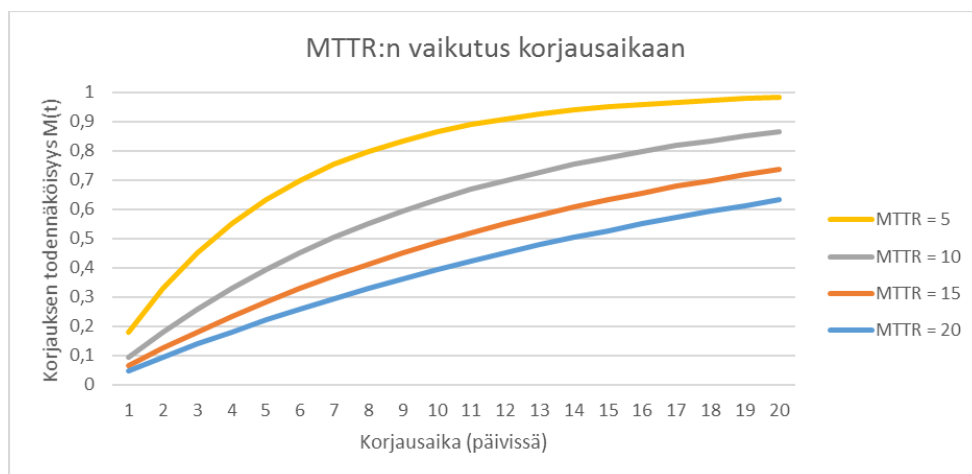
Esimerkki (Kaavio 12): vikaantuminen on säännöllistä ja tapahtuu 100, 125, 150 ja 175 tunnin välien (MTTF). Kuvaajat esittävät kuinka todennäköisyys laitteen toiminnalle pienenee, kun lentotunteja kertyy enemmän. Do228 keskimääräinen vikaantumisaika (MTTF) on tilastojen mukaan noin 140 lentotuntia. Taulukko osoittaa, että 50 % luotettavuudella, pystymme lentämään noin 100 tuntia vikaantumatta. Mikäli operaatioon on varattu 75 lentotunnin lentoaika pystytään juuri korjatulla lentokoneella operaatio toteuttamaan lähes 60 % luotettavuudella.



Kaavio 12: MTTF:n vaikutus luotettavuuteen

Huollettavuus

Kunnossapidettävyyys ja huollettavuus ovat keskeisiä tekijöitä järjestelmissä, joissa vikaantumisen ja huoltotoiminta kuluttavat resursseja. Kunnossapito kuvaa enemmän päätöksiä ja ajatusta siitä, miten huoltotoimintaa ja korjaustoimintaa on tarkoitus toteuttaa. [21] Huollettavuus kuvaa matemaattista todennäköisyyttä ajasta, jolla vikaantunut laite pystytään palauttamaan käyttöön [43]. Kunnossapidon ajatus voi olla sellainen, että huolto ja korjaustoiminta ostetaan muilta tai sitten hankitaan itselle kyky huoltaa ja korjata järjestelmiä itse. Kunnossapito pitää suunnitella elinjakson ensimmäisissä vaiheissa ja toteuttaa suunnitelmien mukaan. [46] Lentokoneessa kunnossapito voi tarkoittaa sitä, että kevyemmät huollot ja laitevaihdot tehdään itse ja suuremman huollot ja laitekorjaukset ostetaan palveluna. Huollettavuutta voidaan parantaa varaamalla riittävästi vaihtolaitteita, osaavaa henkilöstöä ja siten minimoida aika, mitä järjestelmä on korjauksessa. [43]



Kaavio 13: MTTR:n vaikutus korjausajan todennäköisyyteen

Kaavio 13 on esitetty eksponenttialisen jakauman muodostamat todennäköisyyskuvaajat, kun keskimääräistä korjausaikaa muutetaan. Kaaviosta voimme todentaa huollettavuuden paranevan, kun keskimääräinen korjausaika MTTR on mahdollisimman pieni.

Kunnossapito on muuttunut useiden teknologisten kehittymisen johdosta siihen, että huoltotoiminta on keventynyt. Syitä huoltotoiminnan keventymiseen on muun muassa: Järjestelmien luotettavuuden parantuminen, järjestelmien modulaarisuus mahdollistaa vain vikaantuneen laitteen vaihtamisen ja uudet järjestelmät osaavat itse ilmoittaa mahdollisesti pian tulevista vioista, jolloin tarkastustoiminta vähenee. Uusien järjestelmien valmistajat markkinoivatkin järjestelmiään huoltovapaina tai erittäin kevyesti huollettavista. Todellisuudessa huoltotyö on vain muuttanut muotoaan ja uskalletaan operoida laitteen vikaantumiseen asti, kunnes vain vikaantunut laite vaihdetaan uuteen. [46]

Huollettavuutta voidaan parantaa lyhentämällä korjausaikaa. Korjausaikaa voidaan lyhentää, mutta samalla on hyvä huomioida siitä aiheutuvat kustannukset. Ylimääräisten viiveiden minimoiminen, kuten vianetsintä, vikaantuneen laitteen löytäminen ja vikaantuneen laitteen nopea saatavuus johtavat korjaus ja huoltotoiminnan nopeaan aloittamiseen. Riittävä määrä osaavaa korjaus- ja huoltohenkilökuntaa ja heidän työkalunsa mahdollistavat työn aloittamisen heti vikahavainnon jälkeen. Mitä helpompi järjestelmä on huoltaa ja korjata, sen nopeammin se pystytään palauttamaan tehtäväkelpoiseksi. [39]

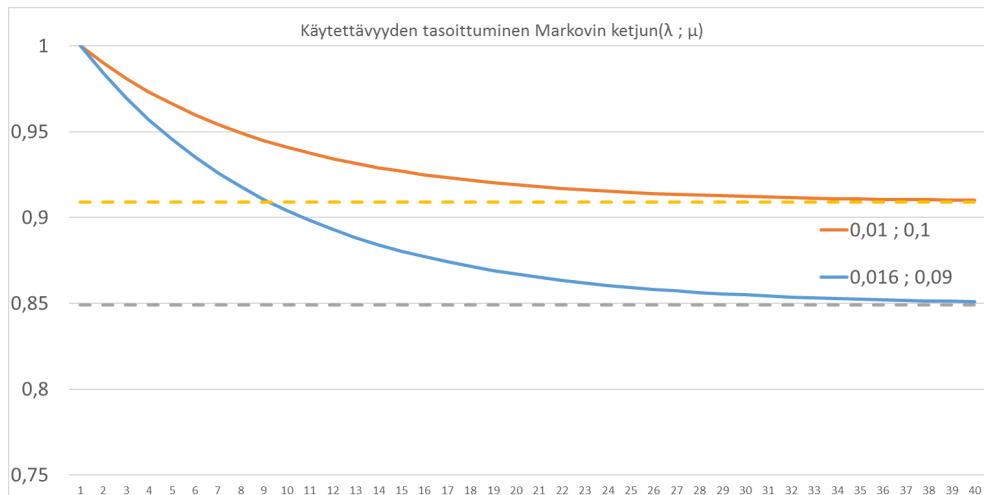
Käytettävyys

Käytettävyys on yksi järjestelmän tehokkuutta osoittava tekijä, joka osoittaa onko järjestelmä valmiina käyttöä varten. Kun luotettavuus ja huollettavuus ovat korkealla tasolla, muodostuu näistä parempi käytettävyys. Käytettyä kuvataan todennäköisyytenä, onko järjestelmä ollut käytössä valitulla tarkastelujaksolla tai mikä käytettävyys voidaan saavuttaa luotettavuuden ja huollettavuuden muuttujilla. Saavutettu käytettävyys saadaan jakamalla käyttöaika kokonaisajalla (uptime/total time). Kun tiedetään vikaantumistaajuus ja korjaustaajuus, voidaan käytettävyys myös laskea, onko laite käytettävissä valitulla ajanhetkellä. Luotettavuuden ja huollettavuuden tilastojen avulla voidaan myös laskea järjestelmän käytettyä tasoittuneessa tilassa Markovin ketjun avulla. [39]

Kaavassa 4.2 käytetään Do228 viimeisen kolmen vuoden vikatilastoa ja saadaan vikataajuudeksi 0,016 (MTTF = 62 päivää) ja korjaustaajuudeksi 0,09 (MTTR = 11 päivää). Tarkastelussa ei oteta huomioon ennaltaehkäisevää huoltoa. Kaavio 14 esittää P_1 ja vertailun vuoksi todennäköisyys P_2 tasoittumisen Markovin ketjun periaatteella osoittamaan saavutettavaa käytettä-

vyyttä. P_2 todennäköisyydet saadaan vikataajuuden 0,01 ja korjaustaajuuden 0,1 arvoilla kaavassa 4.7. [39] Mikäli järjestelmän korjaustaajuus pystyttäisi nostamaan 0,1 (MTTR = 10 päivää) ja vikataajuus laskemaan 0,01 (MTTF = 100), nousisi käytettävyys noin 85 prosentista noin 91 prosenttiin. Edellä kuvatut muutokset voisivat nostaa kustannuksia merkittävästi.

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0,984 & 0,016 \\ 0,09 & 0,91 \end{bmatrix}, P_2 = \begin{bmatrix} 0,99 & 0,01 \\ 0,1 & 0,9 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$



Kaavio 14: Käytettävyyden tasoittuminen Markovin ketjun avulla

Käytettävyys laskennan ensisijainen tehtävä on osoittaa omistajalle, vastaako tuote asetettuja vaatimuksia. Mikäli tavoiteltava käytettävyys olisi 75 % ja markkinoilta löytyisi useita suorituskykyisiä järjestelmiä, voidaan kaikista vaatimukset täyttävistä järjestelmistä valita elinjaksoaltaan edullisin vaihtoehto. [39]

Laitteiden kahdentaminen ei suoraan lisää käytettävyyttä. Ongelma johtuu siitä, että laitteet edelleen vikaantuvat yhtä usein, ja niiden korjaamiseen tarvitaan silloin enemmän resursseja. Pahimmassa tapauksessa käytettävyys saattaa jopa laskea himan, jos vikaantuneita järjestelmiä on enemmän korjattavana. Tärkeä on kuitenkin huomata, että kahdentamalla laitteita saadaan parempi luotettavuus, vaikka käytettävyys pysyisikin samana. [39]

4. ELINJAKUSTANNUSLASKURIN KÄYTTÖ ARVIOITAESSA VALVONTALENTOKONEEN ELINJAKSOKUSTANNUKSIA

Tutkimuksen tueksi laadittiin Excel laskentaohjelmistoa hyödyntävät kustannuslaskurit. Laskurit ohjelmoitiin sotatekniikantutkimusmenetelmä kurssilla saatujen vihjeiden ja microsoftin Excel ohjeiden avulla. Toisinaan internetistä käydyistä keskusteluista löytyi Excelin työstämiseen hyödyllisiä vihjeitä, joissa avattiin Excelin funktioiden toimintoja. Tutkija laati kustannusrakenteen mukaisille oleellisille kustannustekijöille laskurit, joiden toiminta näkyy kustannuslaskurissa. Kustannuslaskureista saadut arvot sijoitettiin myöhemmässä vaiheessa elinjaksokustannuslaskuriin, joka pohjautuu puolustusvoimien joukon ja järjestelmän elinjaksonhallinnan normin liitteeseen. Elinjaksokustannuslaskuria muokattiin soveltuvaksi tutkimuksessa käsiteltyyn valvontalentokoneeseen ja siitä johdetaan tämän luvun keskeiset elinjaksokustannukset.

Tässä luvussa tuodaan esille valvontalentokoneeseen kohdistuvien keskeisten kustannusten rakentuminen. Kokonaisuus muodostuu eri lähteiden ja ennusteiden vertailusta ja niistä muodostetuista kustannuslaskureista, joiden tuloksia avataan luvun edetessä. Tutkimusmenetelmän valinnasta johtuen tuloksia pitää arvioida tarkoin [29] ja elinjaksokustannuslaskennan periaatteista johtuen, tuloksia pitää lukea suuntaa-antavina eikä ehdottomina totuuksina [10]. Laskelmassa käytetyt olettamukset tuodaan esille ja vaihtamalla keskeisiä parametreja luodaan kustannuksille vaihtelua ja tuloksista voidaan analysoida niiden herkkyyttä. Luvussa esitellyt kustannukset perustuvat liitteen 1 mukaiseen kustannusrakenteeseen.

4.1. Henkilöstökustannusten muutos

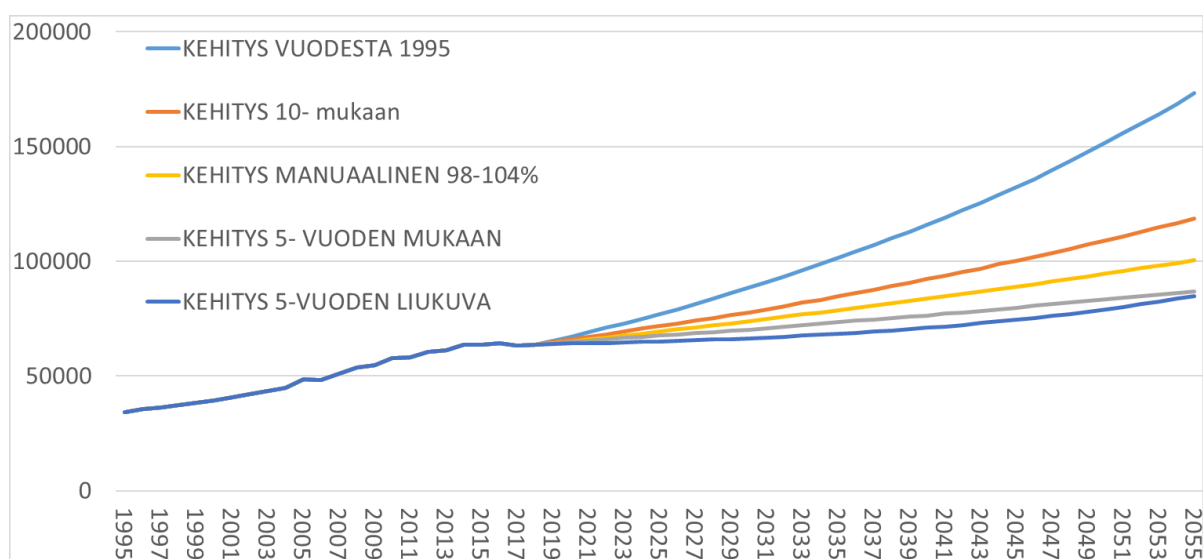
Tässä tutkimuksessa henkilöstökulut lasketaan tämän alaluvun mukaisesti. Myöhemmässä vaiheessa henkilöstökulut kerrotaan tarvittavilla miesmäärillä elinjakson vaiheeseen sitoen.

Oletetaan että valvontalentokoneen henkilöstön palkka vastaa rajavartiolaitoksen henkilöstötyövuoden kustannuksia. Tarkkaan kustannuslaskelmaan tulee arvioida todenmukaiset henkilöstötarpeet ja palkkakustannukset. Todellisuudessa huoltomekaanikot ja toimistotyöntekijät tekevät töitä myös muilla ilma-aluksilla ja ohjaajienkin tarve muuttuu, riippuen päivystyksen vaatimuksista. Tässä laskelmassa ei myöskään ole huomioitu sairastumisen ja lähtövaihtuvuuden vaikutuksia henkilöstökustannuksiin. Laskennan kannalta ne eivät muutenkaan vaikuta tarvittavaan vuosityömäärään, vaikka todellisuudessa ne lisäisivätkin kustannuksia elinjakson aikana.

Henkilöstövuoden hinta rajavartiolaitoksessa oli vuonna 2002 noin 42200€ ja vuonna 2018 noin 63600€/hlö/vuosi. Kun listataan henkilöstökulujen kehitys rajavartiolaitoksessa viimeisen 15

vuoden aikana on henkilöstövuoden hinta kasvanut keskimäärin noin 2,6 % joka vuosi, vuodesta 2002 [47] Tämä lukuarvo ei itsessään kuvaa todellisuutta, koska palkkakehitys ei ole ollut lineaarinen. Kun verrataan sitä tilastokeskuksen ansiotasoindeksin kunnalliseen palkkakehitykseen, on kuvaajat saman suuntaiset [49]. Näin voidaan olettaa, että vuodesta 1995 ansiotasoindeksin luvut vastaavat rajavartiolaitoksen palkkakehitystä vuoteen 2002. Todellisuudessa 2002- 2013 palkkakehitys on ollut hyvin suurta, mutta sen jälkeen kehitys on hidastunut. Jos verrataan vain viimeisten 5 vuoden palkkakehitystä, on vuosittain kehitystä tapahtunut vain noin 0,8 % vuosittain. Mikäli palkkakehityksen oletetaan kehittyvän 0,8 % vuosittaista korotusta vuoteen 2055 asti, kehitty palkkakulut nykyisestä 63600€/hlö/vuosi → 85344€/hlö/vuosi. Palkkakehitys voi toki olla myös nopeampaa tai hitaampaa.

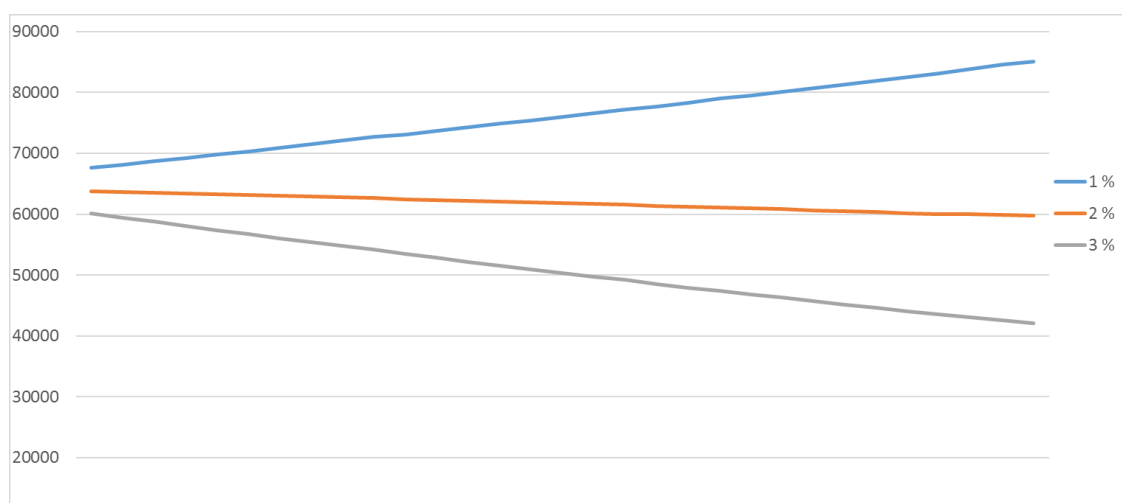
Kaavio 15 on esitetty, miten palkkakehitys voi muuttua seuraavien 30 vuoden aikana. Kuvaajat perustuvat aikasarjaregressiomalliin, jossa tulevat arvot perustuvat aikaisempina ajankohtina mitattuihin arvoihin [36]. Tulevaisuuden kustannukset on laskettu kolmella eri parametrilla. Mikäli palkkakehityksen oletetaan olevan samanlainen kuin edellisen 30 vuoden aikana tulee kuvaajasta voimakkaasti eksponentiaalinen. Kuvaajat 10 vuotta ja 5 vuotta vertaavat talouden kehitystä viimeisten vuosien ajan. Vaihtelut ovat suurempia, koska pitemmissä kehityksissä näkyy 2010-luvun nopea palkkakehitys ja 5-vuotiskuvaajassa nykyinen hitaasti kehittyvä talous. Kuvaaja ”5 vuoden liukuma”, voisi taas simuloitaessa, kuvata lähintä todellisuutta. ”5 vuoden liukuma” kuvaajan arvo vertaa talouden kehitystä aina viimeisen 5 vuoden ajalta ja valitsee satunnaisuuden perusteella talouden kehityksen. Näin ollen esimerkiksi vuonna 2030, laskuri vertaa kehitystä vuosien 2025-2030 aikana. Olettaen, että kehitys riippuu aina viimeisen viiden vuoden kehityksestä.



Kaavio 15: Henkilötyövuoden hinnan kehitys 1995-2055 (tulevaisuuden arvoja)

Laskelmassa lukuarvot ovat tulevaisuuden arvoja, tämä tarkoittaa sitä, että kyseinen kulu maksetaan sen suuruisena kyseisen vuoden lopussa. Tämä ei siis pelkästään kerro mitkä ovat todelliset elinjakso-kustannukset, koska niitä verrataan aina samaan vuoteen. Kun ennustetaan talouden kehitystä, ei lähteistä löydy yhtä oikeaa näkemystä. Näin ollen laskurissa ja nykyarvoon muuttaessa, tulee valita joku tavoite taso tai kustannustaso, joka vastaa investointien realistista vertailua [50].

Kun luetaan mahdollisia ennusteita tai suomenvelkakirjojen korkotasoja, voidaan olettaa mahdollisen reaalikoron olevan vähintään 2 %. Tämä muodostuu noin 4 % nimelliskorosta ja 2 % inflaatiosta, jotka vähennyslaskulla tuottavat reaalikoron. Vaihtelu voi toki olla aina -1 % - 4 %, jolloin talous ei kehity tai kehittyy erittäin nopeasti [51]. Kaavio 16 oletetaan reaalikoron olevan 1 %, 2 % ja 3 %. Elinjakso-kustannuksia laskettaessa reaalikorosta puhutaan termillä diskonttokorko [18]. Kaaviossa on käytetty manuaalisen hinnan kehityksen 98-104 % vuosittaista vaihtelua (0 keltaisen käyrän arvoja). Riskein pienentämiseksi ja eriherkkyysien vaikutusten kannalta laskuria voidaan käyttää jokaisen hintakehityksen nykyarvon laskemiseen, mutta tutkimuksen kannalta arvot ovat jo valmiiksi oletuksia, jolloin kustannus vaihtelut olisivat kuitenkin oletetun kaltaisia.



Kaavio 16: Henkilötyövuoden arvo nykyarvona eri diskonttokoroilla vuosina 2025-2055

Kaaviosta 16 voimme todeta, että mitä nopeammin talous kehittyy, eli reaalikorko on suuri, muodostuu tulevaisuudesta edullisempi, vaikka maksetut palkat kasvaisivatkin. Laskurista voimme lukea myös raja-arvon 1,75 %, jolloin henkilöstö kustannukset pysyisivät nykyarvoon muutettuna vuosittain noin 65 000 suuruisina. Tätä kasvun kehitystä tukee myös BKT:n reaali-nen kasvu, joka Suomessa on ollut noin 1,7 % luokkaa henkilöä kohden [53].

Mikäli olettaisimme, valvontalentokoneen suorituskyvyn ylläpitämisen vaativan vuosittain 25 henkilötyövuoden verran töitä ja henkilötyövuoden hinnan muutokseksi 98 %-103 % ja talouden reaalikoron kehittyvän 1,75 % (diskonttokorko) vuosittaista vauhtia, voimme laskea elinjakso-kustannukset henkilöstön palkoille ja palkkioille vuosille 2025-2055. Näin laskurista sadut lukuarvot olisivat: yhden henkilötyövuoden hinta noin 2 miljoonaa euroa ja koko henkilöstön hinta olisi noin 50 miljoonaa euroa. Tulevaisuuden arvot diskontattu vuoden 2020 arvoon. Oletamme siis, että henkilöstökustannukset riippuvat talouden- ja palkkakehityksen muutoksista. Kustannuslaskelmassa henkilöstön palkoissa voinee hieman oikoa, jos oletetaan palkkakehityksen seuraavan talouden kehitystä. Tällä oletukselle palkkojen kehitys on sama kuin reaalikoron kehitys, jolloin vuosittain maksettava summa on nykyarvossa sama. Tässä tapauksessa $65\,000\text{€} \times 30 = 1\,950\,000\text{€}$. Tässä tarkastelussa hitaasti kehittyvässä taloudessa palkkakuluja pitäisi pystyä vähentämään lomautuksilla, irtisanomisilla tai palkanalennuksilla. Ja vastaavasti nopeasti kehittyvänä jaksena pitäisi palkkojenkin nousta samassa suhteessa.

Henkilöstökustannuslaskelman luotettavuuden arviointi

Henkilöstökustannusten luotettavuutta voidaan arvioida sen mukaan minkälaiset ovat muuttujien luotettavuudet. Tukija on tehnyt suuria olettamuksia, jolloin esitetyt arviot eivät pelkästään riitä luotettavaan kustannusten arviointiin. Kun laskuria tarkastelee henkilöstöalan asiantuntija, hän löytää laskelmasta seuraavia puutteita. Henkilöstötarve on oletettu kiinteäksi koko elinjakson ajan. Palkkojen eksponentiaalinen kehitys ei vastaa täysin totuutta. Lentäjien ja vartiolen-tolaivueen henkilökunnan palkat ovat lähtökohtaisesti suuremmat, kuin rajavartiolaitoksessa keskimäärin. Henkilöstökuluihin vaikuttaisi myös päätökset siitä, huolletaanko ilma-alusta itse vai ostetaanko huolto aina kaupalliselta toimijalta ja miten päivystystoiminta on suunniteltu toteutettavan.

Kun henkilöstön elinjakso-kustannuslaskelmaa tarkastelee taloustieteilijä hän saattaa kiinnittää huomiota korkojen realistisuuteen. Tämän takia laskuria pitäisi ohjelmoida riski-korko perusteisesti tai erivaiheissa taloustieteilijän tulisi osallistua korkojen muuttamiseen [50]. Näin ollen korkojen riskiarvioiden mukaan satunnaisuus muuttaisi korkoa todellisempien riskien ja tuotto-odotusten suhteen. Keskeisenä taloustietelijää kiinnostaisi, onko investointi kokonaisuudessaan kannattava vai pitäisikö rahat sijoittaa johonkin muuhun - riskittömämpään [50].

Tutkija näkee henkilöstön kustannustenarvioinnin hankalana, jonka takia laskuria on pelkistetty. Laskuri ei esimerkiksi ota huomioon sairastelujen aiheuttamia kustannuksia. Kaiken kaikkiaan henkilöstökustannuksia ei voi sivuuttaa elinjakso-kustannuslaskelmasta, vaikka henkilöstön kustannukset voivat hankinnasta riippumatta pysyä samoina.

4.2. Hankintavaiheen kulut

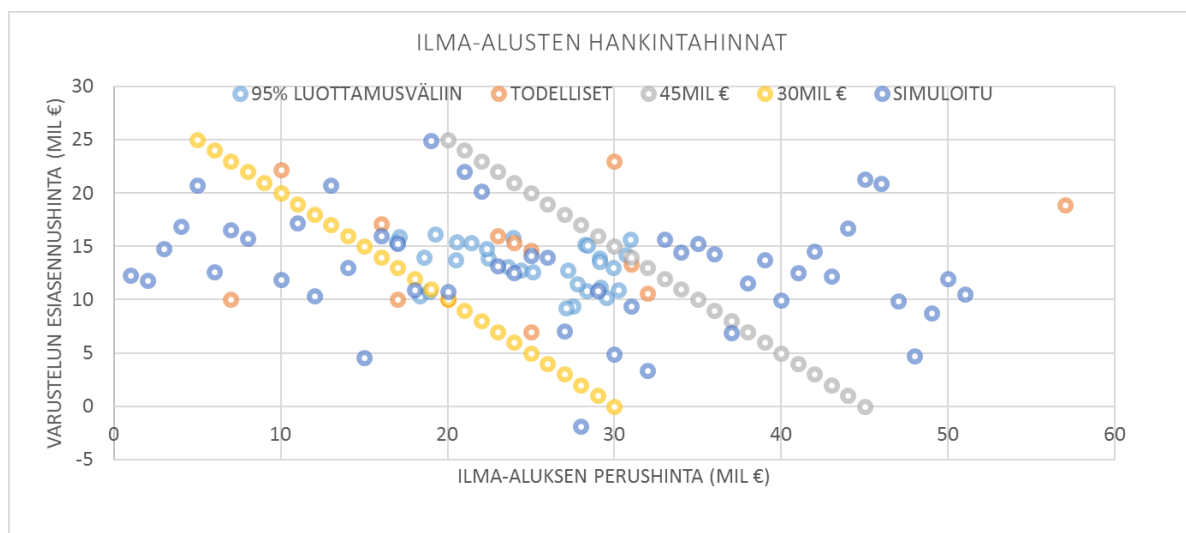
Rajavartiolaitos on hankkimassa valmista valvontalentokonetta, joka ostetaan varusteltuna joko valmistajalta tai varustelupalvelua tarjoavalta toimijalta. Puolustusministeriönkin materiaalipoliitikassa ulkomaisissa hankinnoissa painopiste on valmiissa ja testatuissa järjestelmissä [54]. Eduskunta ei ole vielä valtuuttanut rajavartiolaitosta hankkimaan ilma-alusta, joten mahdolliseen hankintaan varattua rahoituskehystä ei vielä ole olemassa. Viimeisimmän tiedotustilaisuuden (14.2.2020) mukaan kahden lentokoneen korvaaminen uusilla maksaisi 60 miljoonaa euroa [55].

Tässä tutkimuksessa selvitetään vaihtoehtoisten ilma-alusten hankintahintoja, etenkin valmistajan rungon, varamoottoreiden ja valvontajärjestelmän osalta. Tutkimus perustuu Jane's tietokannan julkaisemiin hintoihin ja niiden arvojen muuttamista hinnankehitysten mukaisesti. Jane's tietokannan tehdyistä sopimuksista ei selviä mitä muuta hankintasopimuksessa on toimitettu ja siten sopimushinnat pitävät sisällään epäluotettavuutta.

Ilma-aluksen ja valvontajärjestelmän hankintakustannukset

Jane's tietokannan sopimushinnat Yhdysvaltojen dollareista (USD) muutettiin vastaamaan euroja kyseisen vuoden kurssilla $1\text{USD} = 0,8\text{-}0,92\text{EUR}$ [57]. Muutetut eurot muutettiin vastaamaan vuoden 2018 hintatasoa tilastokeskuksen rahanarvonmuuntimella [58]. Muutokset eivät siten ole tarkkoja arvoja vaan suuntaa-antavia arvioita mahdollisesta hinnasta vuonna 2018. Vuosi 2018 valikoitu Jane's tietokannan arvoihin, koska suurin osa hinnoista oli päivitetty vuoden 2018 mukaisiksi. Epätarkkuus arvoissa pystytään korjaamaan todellisten tarjouspyyntöjen hintojen ollessa selvillä hankinnan myöhemmässä vaiheessa.

Jane's tietokannassa tehty ilma-alusvertailu osoittaa, että sotilaskäyttöön varustetut ilma-alusten (otos=6) sopimushinnat vaihtelevat 30-50 miljoonan euron välillä [59] (Kaavio 170). Ilma-alusten (otos=13) perushinnat ovat noin 15-30 miljoonaan euron välillä. Pelkän varustelun sopimushinnat vaihtelivat noin 10-20 miljoonan välillä. Toiset ilma-alukset olivat varusteltuerialueenvalvontaan ja toiset vaativampaan sotilaskäyttöön. Tämä varustelun ensiasennus hinta arvio saatiin vähentämällä sotilaskoneen sopimushinta saman ilma-aluksen perushinnasta. [59] Todellisuudessa sopimushinnoissa on mukana myös hankinnan alkumateriaalit, koulutus ja ensimmäisten vuosien huollon tuki [53]. Kun verrataan pelkästään ilma-aluksille tehtyjä valvontalaitepäivityssopimuksia, saadaan valvontalaitepäivityksille hintaa noin 20-30 miljoonaan euroa [73]



Kaavio 17: Jane's tietokannasta kerätyt ja siitä simuloitut hankintahinnat.

Kerättyä aineistoa käsiteltiin jatkuvan todennäköisyyden olettamuksella, siten että löydetty arvot noudattavat normaalijakaumaa. Otoksen ollessa pieni tehtiin tarkastelut t-jakauman laskusääntöjen mukaisesti. [78] Lukuarvoja käsiteltiin Excel-laskurissa seuraavasti. Ilma-alusten perushinnan keskiarvo on 24 miljoonaa euroa ja 95 % luottamusväli 8 miljoonaa euroa. Ilma-alusten perushintojen sopimushinnat: 7, 17, 20, 25, 23, 30, 10, 16, 24, 25, 31, 32, 57 miljoonaa euroa. Varustelujen ilma-alusten sopimushinnat: 27, 27, 30, 32, 39, 53 miljoonaa euroa. Näistä tiedossa olevien varustelunhinnat (varustelu ilma-alus - perushintainen ilma-alus): 10, 10, 10, 7, 16, 23 miljoonaa euroa.

Ilma-aluksille tehtyjen valvontalaitepäivitysten sopimushinnat: 12, 34, 9, 33, 33 miljoonaa euroa. Koska valvontalaitepäivityshinnat ovat lähtökohtaisesti suurempia, kun ensivarustelunhinta, voidaan olettaa, että päivitykseen tarvittava työ ei ole ilmaista vaan on jopa yhtä arvokasta kuin itse valvontajärjestelmän hinta. Laskennassa varustelunhintaa ja päivityshintoja verrattiin luottamusvälin perusteella toisiinsa ja päivitystyölle muodostettiin omat kustannuksensa. Päivitykseen tarvittavan järjestelmän osuus keskimääräisesti maksaa noin 12 miljoonaa euroa vaihdellen 10 ja 14 miljoonan euron välillä. Tämä lukuarvo vietiin satunnaisuuteen perustuen varustelutaulukkoon, josta pystyttiin simuloimalla havaitsemaan varustelun ensiasennushinta. Valvontajärjestelmän ensiasennushinnan keskiarvoksi muodostui 13 miljoonaa euroa vaihdellen aina 6 - 20 miljoonaan. Tämä vaihtelu vietiin satunnaisuudella hankintahinta taulukkoon, josta simuloimalla muodostui varustellun koneen hankintahinta. Hankintahinnaksi muodostui 95 % luottamusvälillä 30-45 miljoonan euron ilma-alus.

Toinen lähestymistapa on huomioida tiedossa olevien kustannusten analoginen tarkastelu, ja valvontajärjestelmän hinta voidaan olettaa maksavan saman verran kuin Do228 valvontajärjestelmän päivitys vuosina 2008-2009. Sopimushinta oli 4,5 miljoonaa euroa/lentokone vuonna

2007 [61] nykyarvona se tarkoittaisi noin 5,4 miljoonaa euroa, 1,42 % inflaatiolla [58]. Tähän laskentaan tulisi erityisesti osata lisätä yksikköhinnan kehitys seuraavan kappaleen avulla. Mikäli valvontajärjestelmän yksikköhinnan kehitys olisi noin 5 % vuosittain, olisi Do228 valvontajärjestelmä päivityksen hinta nykyarvossa noin 10 miljoonaa euroa ($= 4,5 \cdot (1 + 0,05 + 0,0142)^{(2020-2007)}$). Sama vuonna 2025 olisi jo lähes 14 miljoonaa euroa.

Puolustusmateriaalin hinnankehityksestä on julkaistu artikkeli tiede ja ase -julkaisussa. Artikkelin ottaa kantaa erilaisiin väitteisiin ja mittaustapoihin, joita tutkijat ovat eri vuosikymmenillä käyttänyt arvioidessaan puolustusmateriaalin hinnan kehitystä. Artikkelissa toistuvasti viitataan ilma-alusten hankinta hintojen kehitykseen, josta voidaan myös johtaa tälle tutkimukselle kehitystä tukevat trendit. Yleisesti voidaan olettaa, että puolustusmateriaalin hinta noudattaa yleistä kansantalouden hinnan kehitystä. [53]

Artikkelista tulee kuitenkin huomioida laadunmuutoksen vaikutus kustannuksiin. Nykyaikainen yksi lentokone pystyy suoriutumaan vaatimuksista yhtä hyvin kuin kaksi lentokonetta 20 vuotta sitten. Kun laadunmuutos otetaan huomioon, voidaan löytää puolustusmateriaalin jopa 10 % reaalisen yksikköhinnan nousun vuosittain. Tämä tarkoittaa lentokoneen osalta noin 5-7 % yksikkökustannuskehitystä ja 1,5- 2,5 % kansantalouden kehitystä. Merkittävää on kuitenkin huomata artikkelin kirjoittajien johtopäätös, että myöhemmässä vaiheessa voi syntyä tilanne, ettei Suomen kaltaisella pienellä valtiolla ole mahdollisuutta ylläpitää omia suorituskykyjä hinnan nousun johdosta. [53]

Edellä olevat kehitykset kuvaavat paremmin sotilaskäyttöön suunniteltuja ja siten suorituskyvyltään kriittisempiä järjestelmiä. Tässä tutkimuksessa valvontalentokonetta tarkastellaan siviili-ilma-aluksena eikä ilma-aluksen rungolle nähdä tutkimuksessa tarvetta huomioida kuin yleinen hinnankehitys. Valvontajärjestelmän osalta hinnan nousua voi tapahtua suhteellisesti enemmän.

Hankintahintojen tarkastelussa voimme havaita, että vaihtoehtoja erialisille hankinta hinnoille löytyy. Esitetyt hankintahinnat ovat uusien ilma-alusten ja järjestelmien hintoja. Vaihtoehtoinen tapa on hankkia käytettyjä ilma-aluksia, jolloin perushinta pienenee esitetystä. Käytettyä ilma-alusta ostaessa pitää huomioida, että varustelun ensihinta voi nousta lähemmäs elinjakso-päivityksen hintaa ja siten käytetyn ja varustellun ilma-aluksen kustannukset voivat nousta samaan kuin uuden varustellun ilma-aluksen. Mahdollisuuksien mukaan käytettyjen valmiiksi varusteltujen ilma-alusten hinta voi jäädä esitettyjä hintoja selkeästi alemmaksi.

Hankintahinnan herkkyydet

Mikäli päivityssopimusten työnhinta puolitetaan, nousee päivitykseen tarvittavan järjestelmän osuus 11-17 miljoonaa euroa ja hintaa varustellulle ilma-alukselle muodostuisi noin 32-47 miljoonaa euroa. Tämä on t-testin ja 5 % merkitsevyystasolla todettuna merkityksetön muutos, koska $|t| = 0,13 < 2,178 = t(0,05)^{12}$. [78] Näin voidaan olettaa, ettei integrointiin tarvittavan työn oletuksella ole suurta merkitystä lopullisen hankintahinnan vaikutukseen.

Mikäli katsotaan, että simulointi ja hintojen teoreettinen pyörittely ei pidä paikkaansa ja oletetaan hintojen olevan vain ilmoitettujen sopimushintojen toteumia, saadaan hankintahinnaksi 29-41 miljoonaa euroa, josta varustelun osuus on 9-16 miljoonaa euroa. T-testin ja 5 % -merkitsevyystasolla todettuna muutos on edelleen merkityksetön. Näin voimme myös havaita, että sopiiko otos siitä johdettuun malliin. Nyt hankintatarjouksia vastaanottaessa, mallia pystytään tarkastamaan ja tarvittaessa havaitsemaan, mikäli joku tarjous ei vastaa tilastollisesti aikaisempia tarjouksia.

Muut hankintakustannukset

Ilma-alushankintaan liittyy myös muutakin kustannuksia kuin ilma-aluksen runko, moottorit ja valvontajärjestelmät [53]. Sopimuksessa voi tulla myös kaupantekijäisiä ja siten hankinta voi kokonaisratkaisun kannalta olla edullisempi, vaikka sopimus olisikin vertailussa kalliimpi. Tässä luvussa todennetaan mitä muita kriittisiä hankintoja tulee tehdä, jotta ilma-alus saadaan käyttö- ja tukivaiheeseen. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan hintoja siten, kuin ne olisivat yksittäisiä kustannuksia, itse hankintahinnan lisäksi. Kustannuksiin vaikuttaa merkittävästi valittu ilma-alus, jolloin vasta tietopyyntöjen ja tarjouspyyntöjen jälkeen kustannukset voidaan suhteuttaa viimeisimpään elinjakso-kustannuslaskentaa. Samoin kustannuksiin vaikuttavat päätökset, miten huoltaminen on päätetty toteuttaa, kuinka suuri käytettävyyden järjestelmälle halutaan ja miten paljon ollaan valmiita ottamaan riskejä esimerkiksi laitteiden vikaantumisista.

Vaihtoehtoisten järjestelmien vertailu ja testit, järjestelmän valmistuksen seuraaminen ja valmiin tuotteen testaaminen sekä omien järjestelmien integrointi aiheuttavat kustannuksia hankintavaiheen aikana [21]. Tässä tutkimuksessa ole tarkoituksen mukaista selvittää testaamisesta syntyviä kustannuksia, koska hankinnan oletetaan perustuvan valmiiseen testattuun järjestelmään. Vastaavasti omien järjestelmien integrointi ja valmistuksen seuraamisen kulujen oletetaan olevan vertailussa sen verran pieniä, ettei niitä käsitellä tässä tutkimuksessa. Edellä olevia kuluja ei kuitenkaan voi unohtaa, vaikka ne eivät ole suuria kustannuksia.

Henkilökunnan koulutukselle voidaan hankintavaiheessa laskea arviot mahdollisista kustannuksista. Ohjaajien koulutus kokonaisuudessaan pitää sisällään siviili-ilmailulle normaalit

CPLA lentolupakirjan, jonka listahinta Patria Pilot Trainingin koulutusohjelmassa on 124 000 euroa [79]. Tämän lisäksi koulutukseen tarvitaan lentokonetyyppiin vaadittava tyyppilentokoulutus (Type rating), jonka kustannukset ovat noin 26 000€ luokkaa [80]. Lisäksi ohjaajat tarvitsevat erinäisen määrän lentotunteja, jotta he voivat toimia ilma-aluksen päällikkönä. Nämä kulut pystytään kerryttämään operoinnin yhteydessä, jolloin voidaan olettaa, että varsinaisesta koulutuksesta ei synny muita kustannuksia.

Ohjaajien lentokoulutusta on arvioitu puolustusministeriön selvityksessä 2014. Selvityksessä vertahtiin siviili- ja sotilaslentäjien koulutuksia ja niiden kustannuksia. Selvityksen mukaisten johtopäätösten perusteella, lentokoulutusta pystyttäisi toteuttamaan edullisemmin, mikäli koulutusta yhtenäistettäisiin. [81]

Tutkimuksen kannalta riittää arvio ohjaajan koulutuskustannuksesta hankinnan yhteydessä. Mikäli tarvitsemme 7 ohjaajaa, tulisi se maksamaan hankinnan yhteydessä noin 1 050 000€ ($= 7 * 150000\text{€}$). Todellisuudessa kustannukset hankinnassa ovat tätä hieman pienemmät, koska peruslentokoulutus tapahtuu ilmavoimissa ja koulutetuille lentäjille riittää tyyppikurssi, jolloin kustannukset minimissään olisivat noin 182 000 € ($7 * 26\,000\text{€}$). Kustannukset siis vaihtelevat riippuen koulutustarpeesta ja siitä, kuka peruskoulutuksen maksaa ja kenelle.

Mekaanikon koulutus maksaa ilma-alustyyppistä ja koulutuksen laajuudesta riippuen 5000-10000€. Mikäli tarvitsisimme hankinnan yhteydessä 10 mekaanikkoa olisi koulutuskustannukset mekaanikkojen osalta noin 100 000 € ($10 * 10000\text{€}$). Pitkät kurssit tuovat lisäkustannuksia matkustamisen ja palkkioiden muodossa, mitä ei tule myöskään unohtaa tarkastelussa. Esimerkiksi toteutuneen tyyppikurssin kustannukset kahdelle mekaanikolle olivat 36 000€, eli koulutus maksoi yhtä henkilöä kohden noin 18 000€ [82]. Samalla tavalla ohjaajille syntyy kustannuksia tyyppikursseista ja koulutuksista. Muun miehistön koulutus toteutetaan operoinnin yhteydessä, jolloin syntyvät kustannukset ovat kouluttajan ja koulutettavan työntekijän työaikaa. Niille ei ole määritetty merkittävää osaa kustannuksissa.

Hankinnan yhteydessä on huomioitava varaosien ensihankinta, joka vanhan lähteen mukaan on jopa 10 % hankintahinnasta. [23] Nykyisin varaosien varastoiminen kannattaa kuitenkin laskea tapauskohtaisesti ja siihen liittyen Jani Kilpi on esittänyt laskukaavoja kauppakorkeakoulun julkaisemassa kirjassa vuodelta 2007. [83] Varalaitteiden lukumäärä tai vaihtolaitesopimukset tulee laskea, jotta toivottu käytettävyys säilyisi myös vikaantumisen aikana.

Moottori on yksittäisenä laitteena keskeinen jatkuvan toiminnan ylläpitämiseksi. Pratt & Whitney Canada PW100/150 sarjan moottori maksaa noin miljoona euroa. [84] PW110/150 moottoreille luvataan jopa 99,96 % käytettävyys [85]. Korkea käytettävyys johtuu nykyaikaisen

moottorin luotettavuudesta ja ennaltaehkäisevät huoltotoimenpiteet pystytään tekemään runkoon asennettuna nopeasti. Sen lisäksi moottori tarvitsee irrottaa peruskorjaukseen vasta 6000 lentotunnin välein. [84] Vaikka käytettävyyttä olisi hyvä, joudutaan se määrääjain huoltamaan sopimushuollossa. Tälle ajalle tarvitaan joko oma moottori tai huoltosopimuksen mukainen vaihtomoottori, mikäli operointia halutaan jatkaa mahdollisimman nopeasti.

Todellisuudessa tiedossa olevat kustannukset syntyvät hankintavaiheen aikana tarjouspyyntöjen ja tietopyyntöjen avulla. Nyt on tiedossa, että 60 miljoonaa euroa riittää hankittavan korvaajan kustannukseksi. Se mitä hintaan sisältyy, selviää tarjouksia ja tietopyyntöjä tehdessä.

4.3. Käyttövaiheen kulut

Käyttövaiheen kulut on pelkistetyksi jaettu seuraaviin kuluihin: Henkilöstö, koulutukset, polttoaine ja operointiin tarvittava tuki. Oletetaan, että kalustolla lennetään yhtä paljon kuin viimeisen viiden vuoden aikana eli noin 800 lentotuntia vuodessa. Käyttövaiheen kustannuslaskurissa lentotunnit on tarkasteltu 600-1200 lentotunnin välillä 100 lentotunnin välein. Näin laskurista voi verrata lentotuntien määrän vaikutuksen kustannuksiin. Oletetaan myös, että operoiva miehistö koostuu nykyisestä kahdesta ohjaajasta ja kahdesta operaattorista eli neljän hengen miehistöstä. Oletetaan, että päivystystoimintaa tarvittavan operoivan miehistön kokonaisvuosityöajaksi riittää 7 ohjaajaa ja 5 operaattoria.

Operoivan miehistön henkilöstö- ja koulutuskulut

Henkilöstökulut voidaan laskea edellä esitetyn laskurin avulla ja näin 30 vuoden operointiin tarvittavan henkilöstön kustannukset olisivat nykyarvossa 24 miljoonaa euroa ($12 \cdot 2$ miljoonaa euroa). Todellinen vuosityötarve saattaa laskelmissa olla vain 5 ohjaajaa, mutta päätökset päivistysvalmiudessa vaativat vähintään 7 henkilön sitomisen, jotta haluttu valmius toteutuu. Työaikaa jäisi siis muuhunkin kuin pelkään valvontalentokoneen ohjaamiseen.

Koulutuskustannukset muodostuvat ohjaajien kertauskoulutuksista ja simulaattorilentokoulutuksista. Tutkimuksessa oletetaan peruskoulutuksen tulevan ”hankinnan” yhteydessä, jolloin koulutustarve muodostuu henkilöstön vaihtuvuuden muutoksista. Kun henkilöstön vaihtuvuus on suuri tarkoittaa se sitä, että koulutettua henkilöstöä poistuu ja uusia pitää kouluttaa tilalle. Mitä lähempänä vaihtuvuus on nollaa, sen vähemmän tarvitsee kouluttaa uutta henkilöstöä. Rajavartiolaitoksen tilinpäätöksissä lähtövaihtuvuus on vaihdellut 0,5 - 1,8 % välillä ja tulovaihtuvuus 3-5 % välillä. [38] Nämä luvut eivät kerro sitä, miten henkilöstöä sisäisesti vaihdetaan tehtävästä toiseen. Henkilöstön vaihtuvuus voidaan laskea kirjanpitolautakunnan ohjeiden mukaisesti: tulleiden ja lähteneiden henkilöiden summa jaetaan kaksinkertaisella henkilöstön määrällä [87]. Näin rajavartiolaitoksen henkilöstön bruttovaihtuvuus on ollut 2-3 % luokkaa.

Mikäli oletamme, että henkilöstön vaihtuvuus olisi ohjaajillakin, jopa 3 %, pitää vuosittain varautua jatkuviin koulutuskustannuksiin. Nämä kustannukset olisivat ensimmäisenä vuonna noin 31 500€. ($150000 * 0,03 * 7$ = yhden ohjaajan koulutus * vaihtuvuus * ohjaajien lukumäärä). Kertauskoulutuksen vuosittainen kustannus yhdelle ohjaajalle on 10 000€ sisältäen kaikki kulut [89]. Oletuksella, että koulutuskustannukset noudattavat aiemmin käytetty diskonttokorkoa 1,75 %, saadaan koko operointiin tarvittavat koulutuskustannuksiksi nykyarvoon muutettuna noin 2,3 miljoonaa euroa. Mikäli ohjaajia tarvittaisi kahdeksan nousisi käyttövaiheen koulutuksen elinjakso-kustannukset 2,6 miljoonaan euroon ja kymmenellä ohjaajalla 3,2 miljoonaan euroon. Näin ollen ohjaaja resurssi on yksittäisenä merkittävä kustannustekijä ja siten tarve pitää suunnitella hyvin.

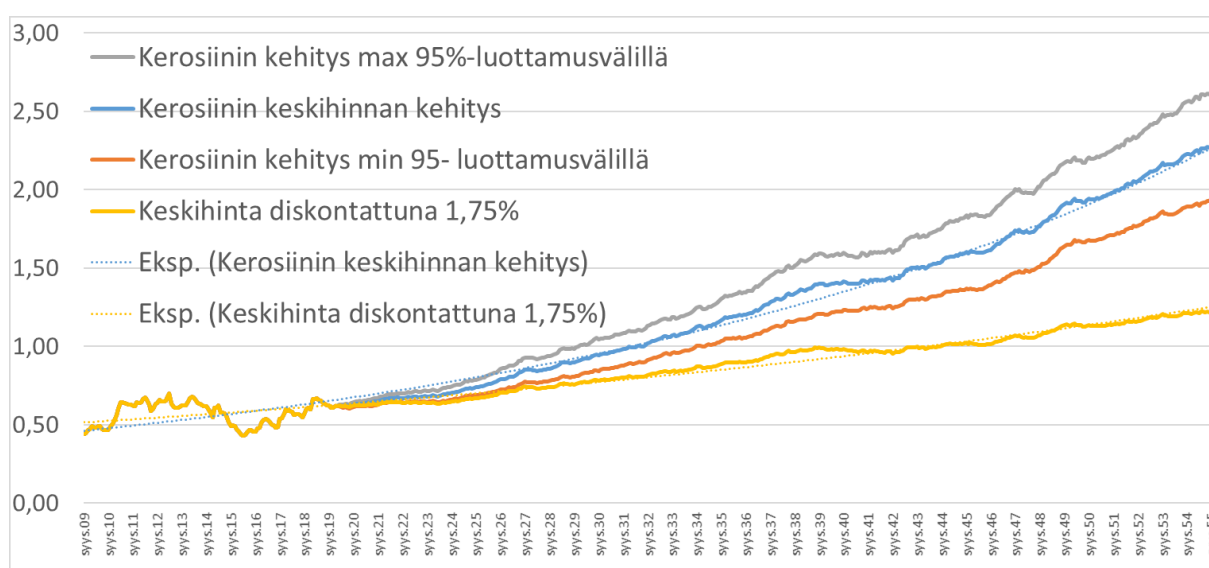
Operoinnista aiheutuvat polttoainekulut

Polttoainekustannukset muodostavat henkilöstökulujen lisäksi suurimmat kustannukset [18]. Polttoaineen hinnan kehitys on puhuttanut ainakin kotitalouksia ja siihen on nähty reagointia myös Euroopan komission tasalla. Koska Suomi ja Eurooppa ovat riippuvaisia fossiilisista polttoaineista, voidaan helposti yhtyä Euroopan komission lauselmaan, ”*Fossiilisten polttoaineiden markkinoilla hintoihin vaikuttavat paljolti globaalit voimat tai ne määräytyvät maailman alueilla sellaisten tekijöiden perusteella, joihin meillä on vain vähän mahdollisuuksia vaikuttaa.*” [90]

Kerosiinin hintaa pystyy seuraamaan kansainvälisten markkinoiden palveluista. Hintaan vaikuttavat merkittävästi myyntialue ja siihen sidottu valutta, samaan aikaan Euroopassa kerosiinin hinta voi olla merkittävästi suurempi, kuin Yhdysvalloissa tai Japanissa. GlobalPetrol-Price.com -verkkosivusto tarjoaa maksua vastaan polttoaineiden hintakehitystä maakohtaisesti. Heidän palvelustaan löytyy myös Suomen kerosiinin hintakehitys vuodesta 2009 alkaen. Kerosiinille löytyi vertailukelpoinen hintakehitys vuodesta 2009 vuoteen 2019. [91] Tutkija ei näin ostanut valmista raporttia vaan vertasi kahden lähteen hintoja luotettavuuden varmistamiseksi. Tutkimusta tehdessä korona-virus pandemia ja sen vaikutukset talouteen laskivat myös kerosiinin hinnan maaliskuussa 2020 hinnasta 0,74€/l → 0,49€/litra. [93] Edellä kuvattua vaikutusta ei ole tutkimuksessa otettu tarkemmin huomioon, kun viimeisimmät datat on kerätty helmikuussa 2020.

Nesteen ”Neste My” uusiutuva lentopolttoaine muodostaa markkinoille mielenkiintoisen tulevaisuuden. 100 % uusiutuvista ja kestävästä raaka-aineista valmistettu lentopolttoaine vähentää, jopa 80 % kasvihuonepäästöjä tavalliseen fossiiliseen polttoaineeseen verrattuna. [94] Neste pyrkii kasvattamaan lentopolttoaineen tuotantoa kymmenen kertaiseksi vuoteen 2022 mennessä. Tavoiteltu taso olisi noin miljoona tonnia polttoainetta vuodessa. [95] Lentopolttoaineen

valmistus määrät pyritään nostamaan 2030 luvulla jo 20 miljoonan tonnin luokkaa. Uusiutuva lentopolttoaine maksaa noin 3-4 kertaan enemmän kuin fossiilinen polttoaine. Hinta eron odotetaan kuitenkin vielä laskevan tuotannon kasvaessa. [96] Mikäli valvontalentokoneen elinjakson vaikutuksissa huomioitaisi myös ympäristövastuullisuus, voitaisi päätöksillä vaikuttaa myös polttoaineesta muodostuviin päästöihin [27]. Aina päätöstä ei tarvitse tehdä itse vaan paine uusiutuvan polttoaineen käyttämisestä voi tulla ylempää. Mikäli EU ilmastolaki ja vuoden 2030 tavoitteet huomioidaan myös rajavartiolaitoksen ilmailussa, muodostuu polttoainekustannuksista jo heti suuremmat. [97]



Kaavio 18: Kerosiinin hinnan kehityksen arviointi erilaisilla kehityksillä

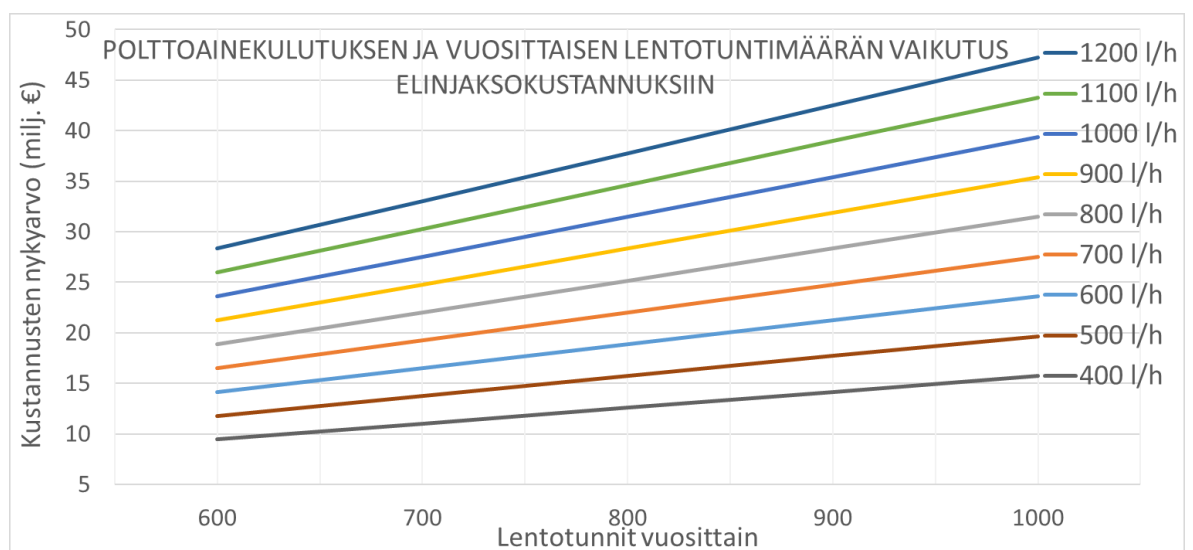
Kaavio 18 tutkija simuloi polttoaineen hinnan nousua olettamalla, että kehitys olisi viimeisen 10-vuoden keskimääräistä tasoa. Tämä kehitys on ollut noin 0,33 % kuukausittain ja keskihajonnan ollessa 3,4 %-yksikön tasolla. Vuoden aikana kerosiinin hinta muuttuu noin 3,96 %. Jos kerosiinin hinnan kehityksen oletetaan olevan suuressa otoksessa normaalijakautunutta, saadaan jatkuvan todennäköisyyden periaatteella Kaavio 18 mukainen hinnan kehitys. Sininen regressiomalli kuvaa keskihinnan kehitystä ja keltainen tästä otettua nykyarvovertailua 1,75 % diskonttokorolla. Harmaa ja oranssi kuvaavat mahdollisia hinnan kehityksiä 95 % luottamusvälillä. Simuloinnilla voimme olettaa polttoaineen hinnan olevan vuonna 2055 jopa viisin kertainen nykyiseen verrattuna 0,5€/L → 2,5€/L. Mikäli kehityksen oletetaan olevan samanlainen kuin viimeisen 10-vuoden tilasto.

Polttoaineen hinnan kehitys on tässä mallissa kuvattu erittäin suureksi. Myös polttoaineen osalta voimme oikaista kustannusten kehitystä, kuten henkilöstön kustannuksissa. Olettamalla, että polttoaineen hinta seuraa talouden kehitystä voimme laskea polttoaineen nykyarvon olevan vuosittain sama.

Ilma-alusten tyypistä riippuen polttoainekulutus vaihtelee 300-1200 l/h. Potkuriturbiini lentokoneiden keskikulutus on noin 600 l/h. Suihkuturbiinimoottorilentokoneiden keskikulutus on 900 l/h. Vertailun ilma-aluksissa suihkuturbiinilentokoneet painoivat keskimäärin 30 % enemmän kuin potkuriturbiinilentokoneet. Vertailemalla kahta saman painoista ilma-alusta suihkuturbiinimoottori kuluttaa polttoainetta noin 10-20 % enemmän kuin potkuriturbiinimoottori. [24]

Suorituskyvylle asetetut käyttöperiaatteet vaikuttavat polttoaineen kulutukseen. Jos halutaan lentää kovaa ja korkealla, valitaan ilma-aluksen moottoriksi suihkuturbiini ja jos halutaan lentää matalalla, tulee valita potkuriturbiini-ilma-alus polttoaineen kulutuksen pienentämiseksi. Polttoaineen kulutukseen vaikuttaa pääosin ilma-aluksen tehontarve. Mitä raskaampi ilma-alus on, sen enemmän se tarvitsee polttoainetta lentääkseen. Mitä enemmän ilma-aluksella tehdään lentoonlähtöjä ja korkeuden vaihtelua, sen enemmän keskikulutus kasvaa. [99] Lentoonlähdössä ja rullauksen aikana kulutus voi olla moninkertainen suunniteltuun matkustuslentonopeuteen nähden. Myös lentäjien valinnoilla on vaikutusta operoinnin polttoainetaloudellisuuteen [96].

Conklin & deDecker laskee keskimääräisen kulutuksen ”tyypillisen matkan” kulutuksen mukaan. Yksi matka on tarkemmin määritelty laskurin olettamuksissa riippuen tarkasteltavasta ilma-aluksesta. Matka sisältää normaaliin rullauksen, lentoonlähden ja matkalennon kulutuksen valmistajan ilmoitusten mukaan optimaalisissa olosuhteissa. Laskettu kokonaiskulutus jaetaan ”tyypilliseen matkaan” kuluneella ajalla. Saatu keskikulutus (litraa/tunnissa) vielä kerrotaan 15 %, jolloin huomioidaan mahdolliset ruuhkista aiheutuneet viiveet rullauksessa tai lähestymisessä sekä ilma-aluksen kuorman määrän tai olosuhteiden vaikutukset polttoainekulutukseen. [25]



Kaavio 19: Polttoainekulutus ja vuosittaisten lentotuntien vaikutus kustannuksiin

Kun tarkastellaan polttoaineen hinnan kehitystä lennettäviin lentotunteihin nähden, muodostuu käsitys koko polttoaineen kustannuksista osana operointia. Kaavio 19 nähdään kulutuksen ja suoritettavien lentotuntien vaikutus polttoaineen elinjaksokustannuksiin. Mikäli korvaajan keskimääräinen kulutus olisi 600 litraa tunnissa ja vuosittaiset lentotunnit 800 tuntia vuodessa tulisi polttoaineelle hintaa noin 19 miljoonaa euroa, koko elinjakson aikana nykyarvoon muutettuna. Jos samalla ilma-aluksella halutaan lentää vuosittain tuhat tuntia, muodostuu kustannuksiksi noin 23 miljoonaa euroa. Jos kuitenkin päädytään suureen ilma-alukseen suuremmalla keski-kulutuksella, nousee kustannukset samassa suhteessa kuin kulutuskin.

Operoinnista aiheutuvat muut kustannukset

Operoinnin muut kustannukset muodostuvat säännöllisistä kuluista, kuten lentoliikennemaksu, satelliittipuhelimen käyttömaksuista, kansainvälisten operaatioidenkuluista ja operointiin tarvittavien kiinteistöjen vuokrista. Hinnat ovat olemassa, mutta niiden tarkastelu tulee huomioida osana käyttökonseptin ja elinjaksosuunnittelun päätöksiä, mistä suorituskyvystä ollaan valmiita maksamaan ja miten yksittäinen kustannus saadaan mahdollisimman kustannustehokkaaksi.

Lentopaikkamaksut muodostuvat laskeutumismaksusta, paikoitusmaksusta, sähkömaksuista, matkustajamaksuista, jäänpoistonmaksuista ja jatketuista lennonjohtopalveluistamaksuista. Esimerkiksi laskeutumismaksut maksimilento-olähtö painoltaan 10000 kg ilma-alukselle ja 450 laskeutumiselle vuosittain ovat noin 17 000 € vuodessa ($450 \cdot 37,5\text{€}$) [100].

Satelliittipuhelimen kustannukset riippuvat sopimuksesta ja datansiirtomääristä. Esimerkkinä satelliittipuhelinliittymän kuukausittainen perushinta no 250 € kuussa ja arviolta jokaista lentotuntia kohden puhutaan 10 min ja lähetetään 1Gt dataa kuvana. Aiheutuu kuukaudessa noin 65 lentotunnin aikana kustannuksia noin 450€ verran. Jotta käyttö olisi edullista tarvittaisi maa-asealle samanlainen liittymä, jolloin kahdelle liittymälle vuosittain syntyisi noin 11 000 €. [101]

Edelliset kustannukset ovat kaupallisia ja siten todellinen hinta sopimuksien kanssa voi olla jotain muuta. Jos oletetaan kustannusten olevan samat kuin edellä, syntyy elinjaksokustannuksia operoinnin tuelle noin 640 000 €. Kiinteistöistä aiheutuvat kustannukset käsitellään tukivaiheen kustannusten yhteydessä.

4.4. Tukivaiheen kulut

Tukivaiheen kulut voidaan pelkistetysti jakaa seuraaviin tekijöihin: henkilöstön kulut, koulutuskulut, huollosta aiheutuvat kulut ja muista tukivaiheeseen liittyvistä kuluista. Henkilöstökulut voidaan arvioida samalla tavalla kuin ohjaajien kulut. Mikäli haluttaisi toteuttaa huoltoa

mahdollisimman jouhevasti tarvitaan 10 mekaanikkoa ja 3 toimistotyöntekijää saadaan tukivaiheen henkilöstökuluksi 26 miljoonaa euroa ($13 \cdot 2$ miljoonaa).

Säännöllisestä huollosta aiheutuvat henkilöstökustannukset

Nykyinen kalusto noudattaa kalenterisidonnaista huolto-ohjelmaa. Tämä tarkoittaa sitä, että säännölliset huollot suoritetaan koneelle kalenterisidonnaisesti, oli lentokoneilla lennetty tai ei. Do228 huolto-ohjelman mukaiset huollot ja huoltojen kesto päivissä on pelkistetty Taulukko 1 [102]. Taulukosta voidaan arvioida huollon kestoa esitetyn mukaisesti. -5, -10, 5 ja 10 % kuvaavat tilannetta, jossa normaalihuolto joko venyy tai huoltoa tehostetaan. Tämän taulukon lisäksi moottoreilla ja laitteilla on omat huolto-ohjelmansa. Tässä tutkimuksessa oletetaan, että normaalitarkastusten lisäksi tehtävät laitevaihdot, moottorin vaihdot ja muut vikatyöt pystytään toteuttamaan ajallisesti näiden huoltopäivien aikana.

Taulukko 1: Huollon kesto päivissä ja määrä koko elinjakson aikana

HUOLTO	normaali	-5 %	-10 %	+5%	+10%	KPL elinaikana	päivät yht
30d	1	1	1	1	1	120	120
2kk	3	3	3	3	3	120	360
3kk	4	4	4	4	4	60	240
6kk	20	19	18	21	22	30	600
1Y	50	48	45	52	55	10	500
2Y	53	50	48	56	58	5	265
3Y	56	53	50	59	62	5	280
4Y	59	56	53	62	65	5	295
6Y	64	61	58	67	70	5	320

Yksi huoltopäivä on viiden mekaanikon kahdeksan tunnin työpanos. Näin ollen huoltopäivä tarkoittaa 40 miestyötuntia. Yksinkertaisesti laskettuna 30 lentovuoden aikana suoritetaan yhteensä noin 3000 huoltopäivää, joka keskimäärin vastaa siis 100 huoltopäivää vuosittain. Todellisuudessa huoltopäiviä tulisi hieman vähemmän, koska tarkastuksen kalenteri aika jatkuu vasta kun kone palautetaan lentotoiminta. Tällä yksinkertaistuksella voidaan kuitenkin tarkastella, montako mekaanikkoa tarvitaan huoltojen toteuttamiseen.

Mikäli huollettavana on yksi ilma-alus riittäisi vuodessa 4000 tunnin työpanos. Jos mekaanikon työaika vuosittain on noin 1854 tuntia, tarvittaisi laskennallisesti vain 2,2 mekaanikon työvuotta. Todellisuudessa tarvittaisi kuitenkin viisi koulutettua mekaanikkoa, jotta huolto saataisi toteutettua aikataulussa. Lisäksi suuri huolto tulee keskimäärin vuoden välein, jolloin viidelle mekaanikolle pitäisi olla vuoden muille päiville muita tehtäviä.

Mikäli ilma-aluksia olisi kaksi tarvittaisi noin 4,3 mekaanikon vuosityöaika. Tässä vaiheessa suuret huollot tulisivat keskimäärin 6kk välein ja 5 mekaanikkoa olisivat lähes täysin työllistetty vain huoltotyöhön. Kahdella koneella huoltohallin kapasiteetti olisi noin 200 päivää käytössä ja 150 päivää ilman käyttöä. Jos ilma-aluksia olisi kolme, olisi huoltohalli käytössä 300 päivää vuosittain ja 6,5 mekaanikon vuosityöaika riittäisi koko kaluston huoltoon. Palkkaamalla seitsemän mekaanikkoa, pystyttäisi todennäköisesti ylläpitämään viiden mekaanikon vahvuus koko vuoden ajan. Tässä laskelmassa ei ole huomioitu vikoja, eikä laitehuoltoja.

Mikäli edellä kuvattu huolto-ohjelma viedään tutkijan huoltomallinnuslaskuriin, saadaan vuosittainen huoltoaika 98,7 huoltopäivään. Ero on tässä kohden pieni ja ei aiheuta merkittävä muutosta mekaanikkojen tarpeesta. (Taulukko 2) Huoltomallinnuslaskuri kuitenkin osoittaa, että yhdellä ilma-aluksella todennäköisyys päästä tehtävälle on noin 73 %, kahdella ilma-aluksella 87 % ja kolmella 93 %. Edellisissä ei ole huomioitu vielä vikoja. Huolto-ohjelman ollessa kalenteriaikaan sidottu, ei ylimääräisistä lentotunneista aiheutuisi enempää suunniteltuja huoltoja, todellisuudessa vikaantumisen todennäköisyys kasvaa mitä enemmän lennetään.

Taulukko 2: Todennäköisyyksiä, kun valvontalentokoneita on enemmän

lukumäärä	huoltopäiviä	P(1)	P(2)	P(3)
1	99	0,73	0,00	0,00
2	197	0,87	0,13	0,59
3	295	0,93	0,20	0,80
P(1) =	todennäköisyys, että päästään tehtävälle			
P(2) =	todennäköisyys, että kaksi tai enemmän koneita huollossa samaan aikaan			
P(3) =	todennäköisyys, että varakone on käytettävissä			

Merkittävä ero kaluston määrän kasvamisella lisää varakoneen todennäköisyyttä. Mikäli operoitaisi vain yhdellä ilma-aluksella ei olisi lainkaan varakonetta ja tehtävä keskeytyisi heti. Kahdella ilma-aluksella toisen koneen vikaantuessa olisi 60 % todennäköisyydellä varakone ja kolmella jo lähes 80 %. Laskennallisesti tämä 20 %-yksikön varakone kuitenkin maksaa hankintahinnan ja vuosittaiset huollot, jolloin voitaisi pohtia kannattaako määrääaikaishuollon kannalta hankkia kolmatta ilma-alusta.

Huoltomallinnuslaskuri osoittaa myös, että konemäärän kasvaessa huollon suunnittelu monimutkaistuu. Tilanteet, joissa kaksi tai useampi ilma-alus on samaan aikaan huollossa tarkoittaa aina tarvetta suuremmalle miesmäärälle. Laskurin mukaan kahdella koneella operoitaessa syntyy vuosittain noin 50 päivää, jolloin molemmat ilma-alukset ovat samaan aikaan huollossa.

Hyvällä huoltosuunnittelulla tämä pystytään osin välttämään, mutta tehtävä kuntoon palauttaminen vaatii siis kaksinkertaisen määrän mekaanikkoja tai hyväksynnän, että toisen ilma-aluksen huolto venyy. Kolmella ilma-aluksella päällekkäinen huoltotilanne noin 75 päivää vuosittain, jolloin pitää huomioida se, että ilma-aluksia voi olla huollossa myös kolme samaan aikaan.

Oletetaan kahden ilma-aluksen määräaikaishuollon vaativan hetkittäin 10 koulutettua mekaanikkoa, jotta selvittää kahden ilma-aluksen yhtäaikaista huoltoa. Näin ollen mekaanikkojen vaihtuvuudesta syntyisi vuosittain koulutuskustannuksia noin 3000€ verran. (koulutushinta * lukumäärä * vaihtuvuus = $10000 \cdot 10 \cdot 0,03$). Nykyarvoon muutettuna koko elinjaksolle syntyisi mekaanikkojen koulutuksesta 67 000 €. Tästä voimme todeta, että mekaanikkojen koulutus on suhteellisen edullista, mikäli ylläpidettäisi 20 koulutetun mekaanikon ryhmää tulisi koulutuskustannuksista nykyarvoon muutettuna 140 000 €. Toki ensikoulutukselle tulisi siten hintaa kaksinkertaisesti.

Säännöllisestä huollosta aiheutuvat huoltokustannukset

Moottorintyyppistä riippuen huoltokulut ovat keskeisiä ja niiden kustannukset tulee huomioida elinjaksokustannuksissa. Moottorin kuuma-alueen tarkastus (HSI) tehdään noin puolessa välissä peruskorjausta (OVH). Uudemmissa moottoreilla kuuma-alue tarkastus tehdään vain tarvittaessa ja moottori peruskorjataan 6000-8000 lentotunnin välein. Joissakin moottoreissa sallitaan toiminta niin kauan kuin se vikaantuu. Jos valitaan tarkasteltavaksi PW127 moottori, tulee OVH tehdä 6000 lentotunnin välein. [84] Mikäli vuosittain lennetään 1000 tuntia, kertyy moottoreille (2 kappaletta) yhteensä 2000 lentotuntia vuodessa. Näin ollen keskimäärin 3 vuoden välein peruskorjataan moottori ja samoin myös HSI 3 vuoden välein ensimmäisen tullessa noin 1,5 vuoden kohdalla. Peruskorjauksen hinta on noin 850 000€ ja HSI:n hinta 400 000€ [103]. Näin ollen 30 vuoden aikana kustannuksia moottorin peruskorjauksesta syntyy noin 6 miljoonan euron edestä nykyarvoon muutettuna ja HSI tarkastuksista 2,8 miljoonaa euroa.

Huollonhallintajärjestelmän varastoraportista löydämme kaikki kulutetut varaosat ilma-aluskohtaisesti. Varaosaa tai kulutustavaraa kuitattaessa se kiinnitetään tehtävälle työmääräykselle, jolloin varaston kirjaamat varaosa ja kulutustavaroiden hinnat siirtyvät työlle. [102] Tarkastelussa on kaksi ongelmaa. Varaosien hintojen päivitys ei ole reaaliaikaista ja jotkin hintatiedot voivat olla vuosia vanhoja. Vastaavasti mekaanikko kuitatessaan varaosaa, saattaa varaosa epähuomiossa kirjautua väärälle työlle tai pahimmillaan väärälle ilma-alukselle. Virheitä on oletustasi tapahtunut paljon enemmän uuteen huoltohallintajärjestelmään siirryttäessä. Tämän johdosta tilastoista tarkastellaan vain elokuun 2016 jälkeistä varaosakulutusta. Varaston raportista

kiinnitetään erityisesti huomiota kulutustavaran määriin. Tilastosta löytyi säännöllisten huoltojen kulutustavaran kustannukseksi noin 10000€ vuosi ilma-alusta kohden. Tässä ei ole huomioitu sopimushuollossa käytettyjä kulutustavaroita.

Ilma-alusten laitevaihdot toteutetaan lähtökohtaisesti valmistajan määräämän huolto-ohjelman mukaisesti. Huollonhallintajärjestelmästä kerättyjen Do228 laitevaihtojen kustannukset ovat keskimäärin noin 24 000€ vuodessa [102]. Arvo kerättiin suhteuttamalla vaihtokustannus lentotunnin kustannukseksi. Esimerkiksi, jos generaattori vaihdetaan 1000 lentotunnin välein ja generaattorin hinta on 2100€, muodostuu lentotunnista 2,1€ kuluja generaattorin osalta. Jolloin kahdesta järjestelmästä ja 800 lentotunnin lentomäärästä syntyy vuosittain noin 3360€ ($2 \cdot 2,1 \cdot 800$). Näin jokainen vaihdettava laite suhteutettiin vuosittain maksettavaan summaan. Todellisuudessa kustannukset vaihtelevat laajemmin, mutta pitkällä aikavälillä kustannukset tasoittuvat.

Mikäli Do228 ilma-aluksella lennettäisi elinjakson aikana yli 25 000 tuntia muodostuisi tuona ajankohtana useiden arvokkaiden laitteiden vaihto. Tutkimuksessa oletetaan, että lennetään noin 8000 tuntia vuodessa, jolloin 30 vuoden aikana saavutetaan 24 000 tuntia. On kuitenkin tärkeä huomata, mikäli yhdellä ilma-aluksella olisi tarkoitus lentää 1000 tuntia vuodessa 30 vuoden ajan tulisi Do228 tapauksessa viimeisistä vuosista muodostuisi merkittävästi arvokkaampaa, pelkästään vanhenevien laitteiden osalta.

Lisäksi ilmailussa, joissa järjestelmien elinjakso ovat pitkiä, tulee huomioida kaupallisten laitteiden (COTS) tuotteiden aiheuttamat haasteet. Jos valmistaja päättää lopettaa yksinkertaisten laitteiden tuotevalmistuksen saattaa yksikköhinnat kohota luotua korkeammiksi. Sopimuksilla, ennakkoinnilla ja päivityksillä pystytään vastaamaan materiaalin hinnan yllättäviin nousuihin. Kustannusten kannalta se tarkoittaa aina nousua. [104] Elinjaksonhallinnan kannalta onkin merkittävää seurata jatkuvasti kustannusten kehitystä, jotta päätökset ehditään tehdä ajoissa [22].

Varalaitteiden ja kulutusmateriaalin kustannuksiin tulee Do228:n tapauksessa siis varata vuosittain noin 34 000€ /ilma-alus. Mikäli ilma-aluksia on enemmän, tulee lukumäärä kertoa ilma-alusten määrällä. Näin yhden ilma-aluksen elinjakso-kustannukset varaosien ja kulutustavaroiden osalta ovat nykyarvoon muutettuna 750 000€. Jos ilmailumateriaalin oletetaan kehittyvän noin 3 % vuosittain [53], muodostuu elinjakso-kustannuksista noin 1,4 miljoonaa euroa nykyarvoon muutettuna. Tarkemmat arvot vuosittaisista kustannuksista voi kysyä hankintavaiheen tietopyyntöjen yhteydessä.

Vikaantumisen aiheuttamat kulut

Vikaantuminen ja sen aiheuttamat kustannukset tulee huomioida osana ilma-aluksen huoltokuluja. Aineisto Do228 vikaantumisesta on kerätty huollonhallintajärjestelmästä ja huoltosuunnitelmista [102]. Vikaantuminen on jaettu kolmeen keskeiseen vikatyyppiin: Pysäyttävä vika, huoltoon siirrettävä vika ja roikkuva vika. Pysäyttävä vika estää lentotoiminnan jatkamisen. Pysäyttävä vika voi olla yli päivän kestävä tai päivässä korjattava. Kaikki saman päivän aikana korjatut viat ovat tässä tutkimuksessa pysäyttäviä vikoja, koska syytä nopeaan korjaamiseen ei välttämättä ole kerrottu tai kirjattu. Huoltoon siirrettävä vika ei ole lentotoimintaa vaarantava ja sen toteuttamiseen tarvitaan enemmän aikaa ja varaosia on aikaa odottaa. Huoltoon siirretty vika korjataan seuraavassa tai sitä seuraavassa huollossa. Roikkuva vika on lentotoimintaa rajoittava vika. Lentotoimintaa voidaan jatkaa, mutta heti varaosan saavuttua suoritetaan korjaustoiminta.

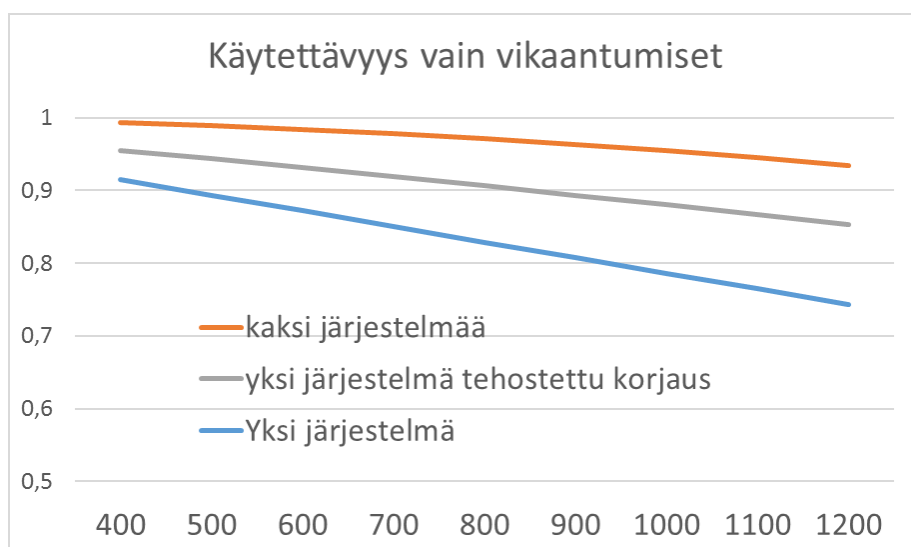
Turvallisen lentotoiminnan ylläpitämiseksi ilma-aluksille on laadittu asetusten mukainen minimivarusteluettelo (MEL - minimum equipment list), joka ohjaa lentotoimintaa järjestelmien vikaannuttua. Minimivarusteluettelo määrittelee laitteet A, B, C ja D kategorioihin. A-kategorian laitteet tulee korjata välittömästi luettelon ohjeistuksen mukaan ennen lentotoiminnan jatkamista. B-kategorialla lentotoimintaa voidaan, mutta korjaus tulee suorittaa kolmen päivän aikana havainnosta. C-kategorian vika tulee korjata kymmenen päivän aikana vian havaitsemisesta ja D-kategorialla korjausaikaa on 120 päivää. [105] Lentokelpoisuuspäällikön johdolla on mahdollisuus jatkaa B, C ja D kategorian määräaikaan jaksonsa verran. Tai mikäli kiireellisen hälytystehtävän takia ylitetään määräaika, voidaan ilma-aluksella suorittaa tehtävä loppuun. [40]

Tutkimuksessa tarkastelemme olettamusta, että ilma-alus on korjauksen jälkeen uutta vastavassa kunnossa ja viat jakautuvat tasaisesti luotettavuuden ja käytettävyyden arvioimiseksi. Pysäyttävän vian keskimääräinen vikaväli, MTTF, on lentotuntien perusteella noin 141 tuntia. Kun se suhteutetaan vuosittaiseen lentotuntimäärään, saadaan MTTF kalenteri perustaiseksi ja vika ilmaantuu 36 - 86 päivän välein (esimerkiksi $1400 \text{ FH}/365 \times 141 \text{ FH} = 36,8$ päivää). Tilastoista voimme laskea, että pysäyttävän vian korjaukseen kuluva aika, MTTR, on keskimäärin 11 päivää.

Kun tarkastellaan yhden ilma-aluksen todennäköisyyksiä Markovin ketjun periaatteella, löydämme vain kaksi tilaa: kone toimii tai ei toimi. Mikäli ilma-aluksia on kaksi, tällöin tiloja on neljä, kun ilma-aluksia on kolme, muodostuu tiloja 9. Luotettavuuden katsotaan kasvavan, mikäli vaatimuksena on yhden koneen lentokelpoisuus ja käytössä on enemmän ilma-aluksia

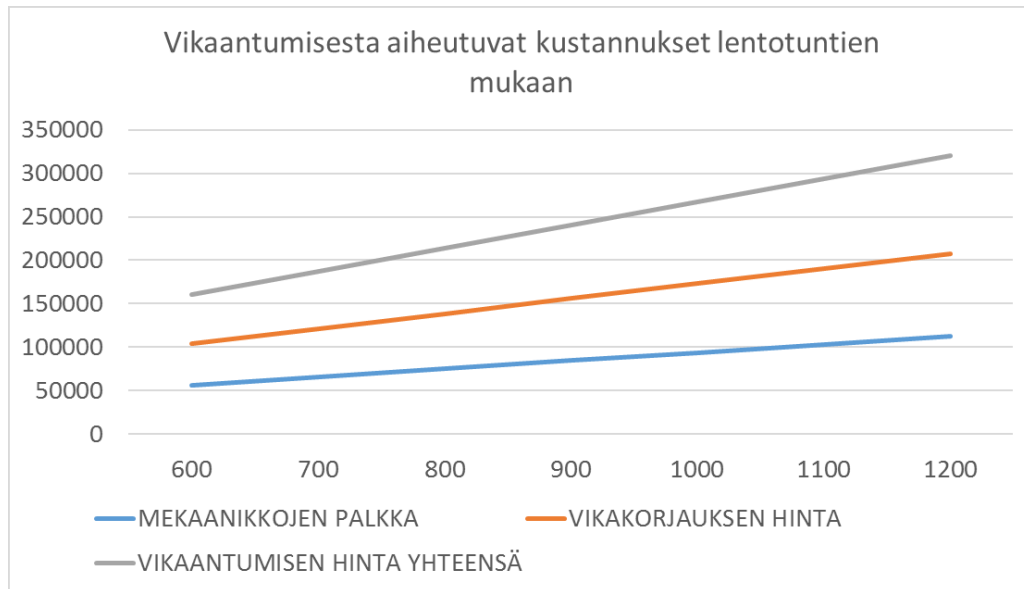
kuin yksi. Mikäli huomioimme kaikki vikatyypit kustannusten näkökulmasta, on MTTF vain 9,7 lentotuntia.

Mikäli oletamme pysäyttävien vikojen korjausaikojen käyttäytyvän eksponentiaalisesti ja vikaantumisen toteutuvan yhtä usein kuin viimeisen kolmen vuoden aikana saadaan ilma-alukselle seuraavan kaltainen käytettävyys. Kaavio 20 voimme todeta, että lentotunteja lisäämällä vikaantuminen kasvaa ja näin käytettävyys laskee. Mikäli haluamme käytettävyyden olevan riittävä, tulee järjestelmiä olla useita tai vikakorjausaika tulee minimoida. Kaaviossa harmaa kuvaaja esittää tulosta, mikäli korjaukseen käytetty aika on puolitettu, eli vian korjaus toteutetaan 5,5 päivässä. Eli suurellakaan huoltopanostuksella ei saavuteta kahden järjestelmän kykyä.



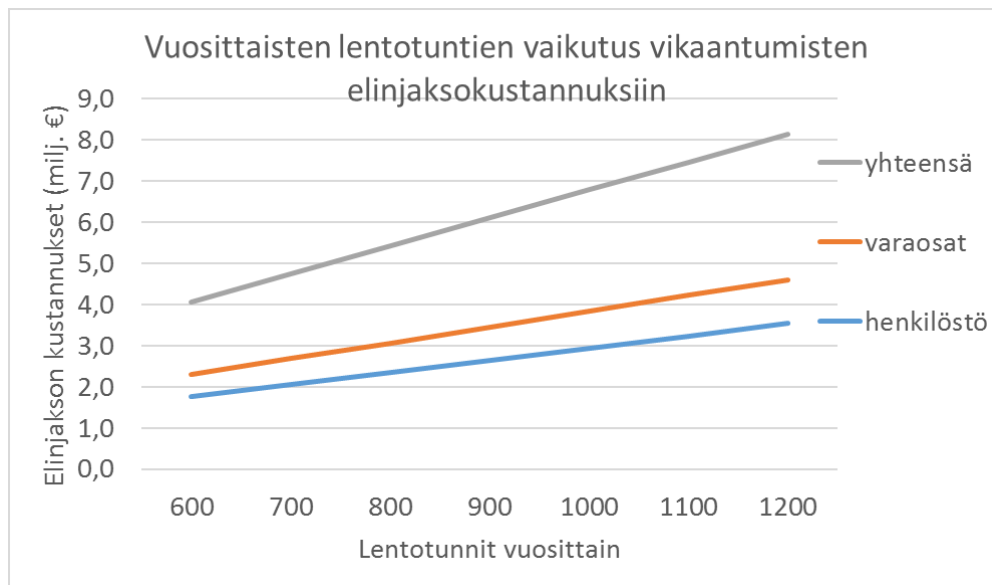
Kaavio 20: Lentotuntien vaikutus käytettävyyteen (vain vikaantumiset)

Kun pohditaan kustannuksia, muodostuu syntyvästä viasta aina varaosa- ja työaikakuluja. Huollonhallintajärjestelmästä saaduista vikakorjauksista kirjattiin ylös käytetty työaika ja käytettyjen varaosien keskihinta [102]. Työaikaa on kirjattu vain harvoin hyvin, joten työaika jouduttiin arvioimaan ilmoitettujen työaikojen perusteella. Laskuriin viedyt työajat muodostuivat mekaanikon, toimiston ja varaston työajan summasta, jolloin yksi vika keskimäärin tarvitsee noin 25 tuntia työaikaa. Laskennallisesti yhden tunnin hinta on 34,3€/h (63600€/1854h). Vikoihin käytetty varaosien kustannus on tilastojen mukaan ollut noin 1700€/vika. Vikojen määrä riippuu siis lentotunneista. Nyt tarkastellaan kaikkia havaittuja vikoja vuoden ajalta, sillä normaalihuollossa havaittu vikakin aiheuttaa lisätöitä ja -kustannuksia normaalin huollon lisäksi. Kaavio 21 kuvaajat osoittavat kustannusten muodostumista vuosittain. Kaaviossa vikojen määrä kasvaa lineaarisesti noin 60 kpl noin 150 kpl vuosittain lentotuntien kasvaessa.



Kaavio 21: Vikaantumisten aiheuttamat kustannukset vuosittain

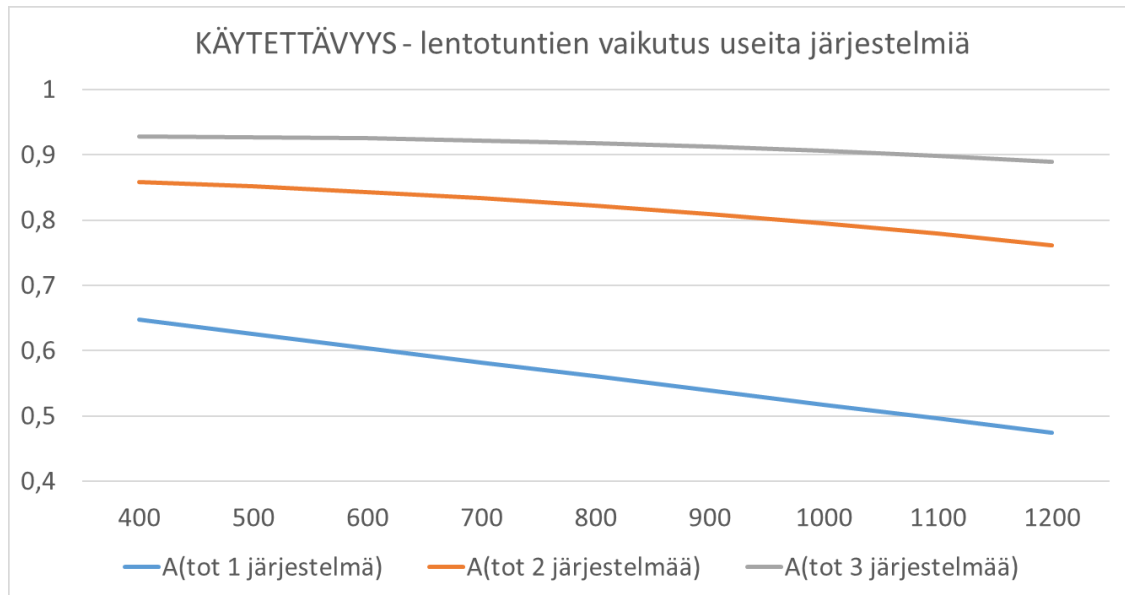
Kaavio 22 osoittaa lentotuntien vaikutuksen vikaantumisten aiheuttamaan elinjakso-kustannukseen. Valitaan esimerkiksi 800 lentotunnin perusteella syntyvät kustannukset noin 200 000 euroa vuodessa. Kun tarkastellaan koko elinjakson aikana syntyviä kustannuksia, muodostuu henkilöstökustannuksista nykyarvoon muutettuna noin 2,4 miljoonaa euroa. Olettamuksella, että vikakorjausten hinta ei muutu, on sen kustannukset nykyarvossa noin 3,1 miljoonaa euroa. Näin vikaantumisesta aiheutuvat elinjakso-kustannukset ovat jo 5,4 miljoonaa euroa.



Kaavio 22: Vikaantumisten aiheuttamat kustannukset elinjakson ajalle

Kun säännöllisesti tehtävät huoltopäivät ja vikakorjauspäivät viedään saamaan käytettävyyss-
taulukkaan, saadaan todellinen käytettävyys laskettua. Olettamuksena on, että huoltoon viedyt
korjaukset eivät venytä suunniteltua huoltoa ja että päivän aikana korjattu vika ei laske käytet-
tävyyttä. Laskennallisesti on tärkeä havaita, että lentopäivien lukumäärä vähenee 100 päivällä,

mikä tarkoittaa sitä, että mikäli halutaan edelleen lentää vuosittain sama aika, tarvitsee päivittäin lentää enemmän. Kaavio 23 osoittaa miten käytettävyys huononee lentotuntien kasvaessa. Tässä kaaviossa on esitetty käytettävyyden erot, mikäli järjestelmiä on enemmän. Huomattavaa on, että kuvaajat muodostavat käytettävyyden sille, että vaatimuksena on vain yhden ilma-aluksen toimintavarmuus. Mikäli haluttaisi lentää kahdella ilma-aluksella samaan aikaan, muuttuisi käytettävyys heti pienemmäksi.



Kaavio 23: Lentotuntien vaikutus käytettävyyteen (huolto + viat)

Tukivaiheesta aiheutuvat muut kulut

Huollosta ja tuesta syntyvät kulut pääosin muodostuvat kiinteistöjen vuokrista ja huoltoa mahdollistavista kuluista. Kiinteistönkulut muodostuvat, joko omistuskiinteistön ylläpitokuluista tai vuokrattavan kiinteistön vuokrakuluista. Vuokrakulujen arvio perustuu Helsinki-Vantaan tukikohdan vuokrakuluihin, jotka muodostuvat seuraavasti. 20 vuoden vuokra-ajan maksu on 18,7 miljoonaa euroa [106]. Koko hallin neliömäärä on noin 6100 neliömetriä. Näin ollen vuokra hinta neliötä kohden on noin 150€ /vuodessa. Mikäli tarvittaisi noin 1500 neliömetriä vuokratilaa syntyisi kustannuksia noin 225 000€/vuodessa. Koko elinjakson aikana nykyarvoon muutettuna kustannuksia syntyisi siten noin 5 miljoonaa euroa.

Huoltoa mahdollistavat kulut voitaisi muodostaa huoltojärjestelmän hinnasta, varastosta ja henkilöstö kuluista. Tutkimuksen kannalta nämä kustannukset katsotaan koostuvan kolme henkilön ylimääräisestä työajasta. Nämä tunnit muodostuvat suunnittelun, varaston, huollonhallinnan ja työnjohdollisten kulujen arviona nykyisestä henkilövahvuudesta. Näiden lisäksi kuluja syntyy työkalujen huolto- ja vuokrauskuluista sekä huoltokirjallisuuden maksuista.

4.5. Elinjaksopäivitysten, modifikaatioiden ja purkamisen kulut

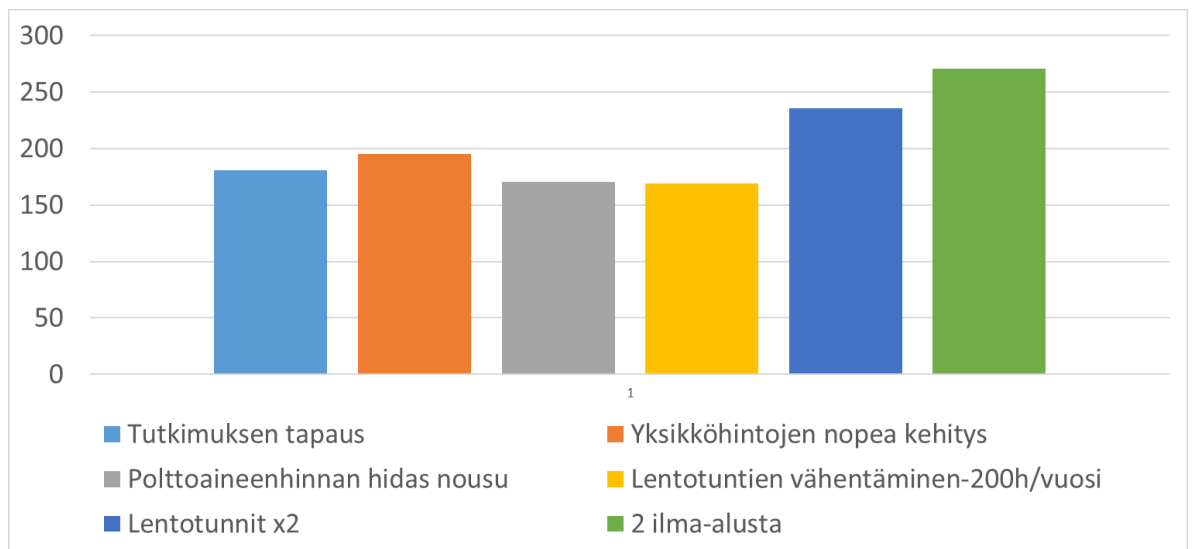
Elinjaksopäivityksiin on syytä varautua jo elinjaksosuunnitelmassa. Varautuminen johtuu osajärjestelmien eriaikaisesta elinjaksosta ja siten niiden vanhenemisesta. Do228 tehtiin kaksi elinjaksopäivitystä. Ensimmäisen valvontajärjestelmäpäivityksen hinta oli noin 4,5 miljoonaa ilma-alukselle vuonna 2007. Elinjaksopäivitysten kustannukset luvun 4.2 mukaisesti on noin 20-30 miljoonaa euroa. Jos oletamme, että päivitysten hintakehitys on muuttunut 4,5 miljoonasta noin 5 % vuosittain [53] saadaan vuodelle 2040 tulevaisuudenarvona noin 40 miljoonaa euroa. Modifikaation laajuus ja hinta voidaan siis olettaa vaihtelevan suuresti seuraavan 20 vuoden aikana. Oleellista on havaita, että elinjaksopäivitys saattaa kustantaa tulevaisuudessa yhtä paljon kuin ilma-aluksen hankinta nyt. Tutkimuksessa varataan noin 40 miljoonaa elinjaksopäivitystä varten vuodelle 2040, joka vastaa nykyarvossa noin 30 miljoonaa (diskontto korko 1,75 %). Tätä kustannusta voi laskurissa vaihdella herkkyyksien havaitsemiseksi.

Tässä tutkimuksessa purkamisvaiheessa syntyvät kustannukset jätetään tarkoituksella arvioimatta. Tutkija olettaa, että ilma-alusten myynnistä tai lahjoittamisesta ei aiheudu merkittäviä kuluja, ja varaosien myynnistä syntyisi suhteellisen vähän tuottoa.

4.6. Elinjaksokustannuslaskurin summaus

Tutkimuksessa tehtyjen olettamusten ja päätelmien kautta muodostettiin elinjaksokustannuksista summataulukko. Tutkimuksen tapaus: Yksi järjestelmä, jonka hankinta hinta on 60 miljoonaa euroa. Elinjakson aikana tehdään yksi elinjaksopäivitys ja sen hinta vaihtelee 20-30 miljoonan välillä. Lentokoneen kulutus vaihtelee 600-1100 l/h ja lentomäärä 600-1000 lentotuntia vuodessa. Lentokonetta huolletaan joko kokonaan, osittain tai ei ollenkaan itse. Edellä kuvatut muuttujat vaikuttavat siten moottorin huoltoon, vikaantumiseen ja henkilöstön tarpeeseen. Tapauksen elinjaksokustannuksen hinnat vaihtelivat 171 ja 198 miljoonan euron välillä ja keskiarvoksi muodostui 181 miljoonaa euroa.

Edellisen tapauksen lisäksi taulukkoon vietiin seitsemän erilaista tapausta, joissa kustannukset vaihtelivat tutkimuksessa käsiteltyjen vaihteluiden välillä. Yksi tapaus olettaa materiaalin yksikköhinnan nousun olevan 6 %. Toinen tapaus olettaa polttoaineen hinnan kehityksen olevan maltillinen aiemman 3,5 % noususta 1 %. Kolmas tapaus vähentää lentotuntien määrää 200 lentotunnilla vuosittain. Neljännessä tapauksessa lentotunnit tuplaantuvat, jolloin muun muassa vikaantuminen, moottorihuollot ja ohjaajatarve kasvaa. Viimeisessä tapauksessa tarkastellaan tilannetta, missä hankitaan kaksi ilma-alusta, jolloin hankintahinta, elinjaksopäivityksen hinta ja määräaikaishuoltoihin tarvittavat resurssit tuplaantuvat.

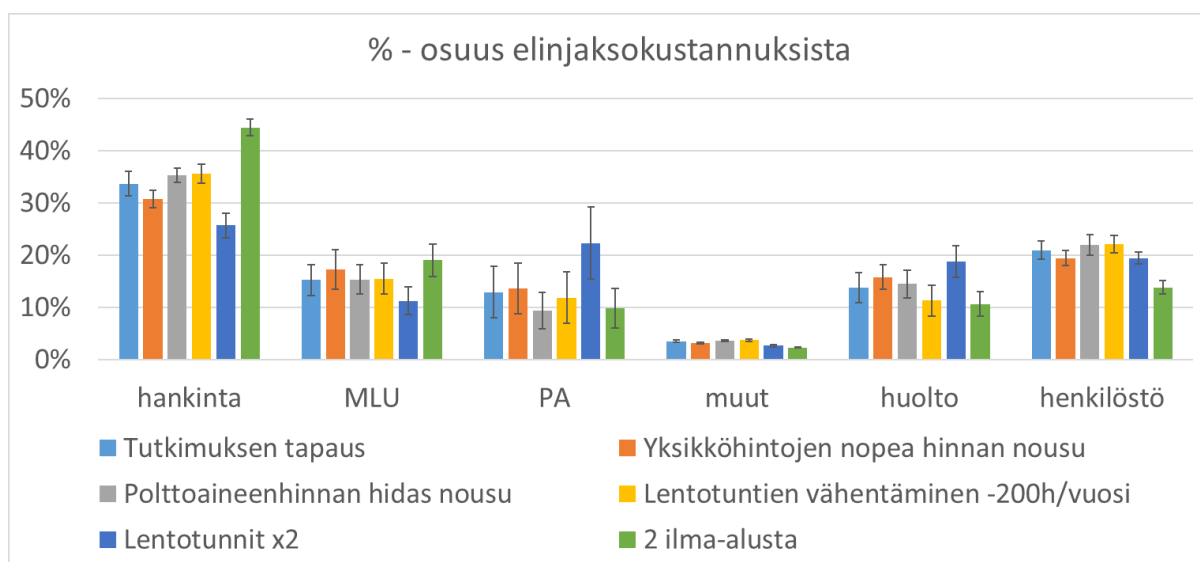


Kaavio 24: Elinjaksokustannukset erilaisissa tapauksissa (milj.€)

Kun tarkastellaan neljää ensimmäistä tapausta (Kaavio 24 vasemmalta), elinjaksokustannukset vaihtelivat 160-200 miljoonan euron välillä. Tapausten keskiarvoksi saatiin 179 miljoonaa ja keskihajonnaksi 12 miljoonaa euroa. Arvot on esitetty nykyarvossa. Kun tähän keskiarvoon sovelletaan Naton oppaan varautumiskertoimia, voidaan laskea Naton oppaan mukainen elinjaksokustannus johon pitäisi pystyä varautumaan. Näistä kertoimista tutkija valitsi tätä tutkimusta mahdollisesti koskevat kertoimet: sopimusten rakenteiden monimutkaisuus +7 %, puutteellinen informaatio suunnittelussa +4 %, monimutkainen tekninen toteutus +10 %, huonot projekti tiedot +18 % ja osaamaton elinjaksonhallinta +5 %. [22] Kustannuksiin tulisi siten varata jopa 250 miljoonaa euroa. Toki Naton opas pyrkiikin kehittämään elinjaksonhallintaa siten, että edellä kuvattuja kertoimia ei tarvitsisi käyttää.

Kaaviosta voimme myös havaita, että lentotuntien tuplaaminen nostaa elinjaksokustannuksia 60 miljoonalla eurolla, kun muuttujat ja oletukset ovat samat kuin tutkimuksen tapauksessa. Vastaavasti kahden ilma-aluksen elinjaksokustannukset nousevat 90 miljoonaa euroa, kun oletetaan, että lentotunnit ja muut muuttujat ovat samat kuin tutkimuksen tapauksessa. Tällä laskulla voimme huterasti perustella, että lisäämällä 33 % elinjaksokustannuksia saamme 35 %-yksikköä lisää käytettävyyttä (Kaavio 23; Kaavio 24) ja etenkin luotettavuutta toiminnan jatkuvaan toteuttamiseen.

Summataulukosta muodostettu Kaavio 25 osoittaa kustannusten painoarvon osana elinjaksokustannuksia. Kaaviosta voimme havaita, että oleelliset kustannukset ovat hankintahinnan lisäksi henkilöstö, polttoaine, huollot ja elinjakson aikana tehtävät elinjaksopäivitykset. Kaavio osoittaa jakauman olevan yksittäisten tapauksista vaihteluista riippumatta samanlainen.

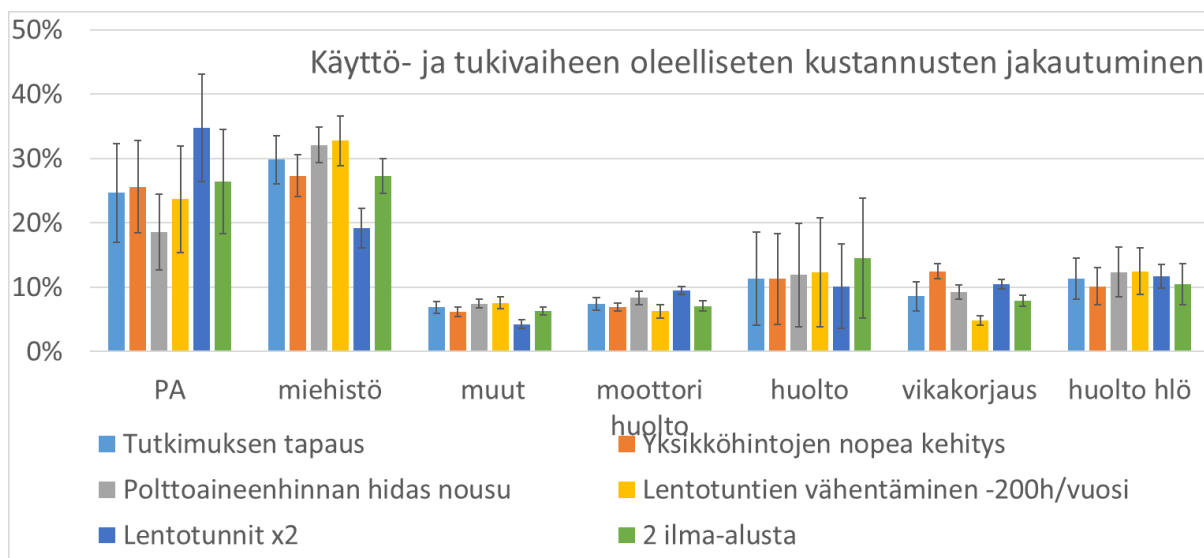


Kaavio 25: Oleellisten kustannusten jakauma elinjakso-kustannuksista

Kun tarkastellaan Kaavio 25 %-osuusia, voimme havaita, että hankintahinta on noin 35 % koko elinjakso-kustannuksista. Näin ollen käyttö- ja tukivaiheelle muodostuu noin 65 % osuus elinjakso-kustannuksista. Henkilöstöpalkkojen yhteinen osuus on noin 20 %, koko elinjakso-kustannuksista. Kaaviosta on tärkeä havaita elinjakso-päivityksen hinta (MLU), joka tutkimuksen perustella on noin 15 % elinjakso-kustannuksista. Polttoaineen (PA) osuus on hieman yli 10 %, huollon ja vikakorjaukseen käytettävät osuus on alle 15 % ja muut kustannukset jäävät alle 5 %.

Kustannusten jakauma siis noudattelee yleistä käsitystä siitä, että hankintahinta on vain osa koko elinjakso-kustannuksista. Kaavio osoittaa, että suunnitteluvaiheessa tehdyt päätökset vaikuttavat käyttö- ja tukivaiheen kuluihin. Suunnittelussa on siis ensiarvoisen tärkeää määritellä tarvittavat henkilöstöt, lentotunnit ja elinjakso-päivitykset, jotta myöhemmän vaiheen kustannukset pystytään minimoimaan.

Kaavio 25 esitetty huoltokustannus muodostuu seuraavasta päätelmästä. Ilma-alusta huolletaan vuosittain noin 5 henkilötyövuoden verran. Mikäli huolto tehdään itse, muodostuu henkilöstökuluja enemmän kuin huoltokuluja. Mikäli huollot ostetaan muualta, kerrotaan 5 henkilötyövuoden hinta 1,5, minkä oletetaan olevan ostetun työvoiman hinta palveluna. Tällöin huollon osuus on suurempi, ja henkilöstökulut ovat pienemmät. Tämä sama oletamus näkyy hyvin myös Kaavio 26 olevien kustannusten suurina vaihteluina.



Kaavio 26: Käyttö- ja tukivaiheen oleelliset kustannukset

Kaavio 26 on jaettu käyttö- ja tukivaiheen kulut tarkempiin osatekijöihin: polttoaineen, ope-
rointikulujen, huoltokustannusten, vikakorjausten ja henkilöstökustannukset mukaisesti. Polt-
toaineen osuus on noin 25 % käyttö- ja tukivaiheesta. Miehistön osuus on lähellä 30 %. Huol-
tokustannusten ja huoltohenkilöstön aiheuttamat kustannukset ovat yhteensä noin 25 %. Mikäli
päätetään ostaa huoltoa muualta voi huoltokustannukset nousta jopa 18 % ja samalla henkilös-
tönkustannukset laskevat 7 %. Mikäli ilma-aluksia huolletaan itse, nousee henkilöstökustan-
nukset 15 % ja huoltokustannukset laskevat siten vain varaosienkustannuksiksi. Olettaus pe-
rustuu siihen, että ilma-aluksia on edullisempi huoltaa itse, kuin ostaa palvelut muualta. Moot-
torihuollon, vikakorjausten ja muiden kustannusten osuudet jäävät kullakin alle 10 %.

Edellä kuvattujen kustannusjakaumien avulla voidaan ymmärtää kustannustenmuodostuminen
ja havaita mitkä oleelliset kustannukset vaikuttavat valvontalentokoneen elinjakson hintaan.
Mikäli elinjaksokustannuksia pyritään laskemaan, voi olla helpointa vaikuttaa pienellä muutok-
sella oleellisiin kustannuksiin, kuin kitkemällä paljon pieniä kustannuksia. Hankkimalla koko-
naistarkastelussa edullisin valvontalentokone voi se tarkoittaa pienikulutuksista, edullisesti
huollettavaa ja pienellä miehistöllä operoivaa ilma-alusta. Tai erittäin edullisesti hankittavaa
suurempaa ilma-alusta, jonka vikaantuminen olisi pientä ja huollot pystyttäisi toteuttamaan itse.
Tehdyt päätökset siis vaikuttavat elinjaksokustannuksiin.

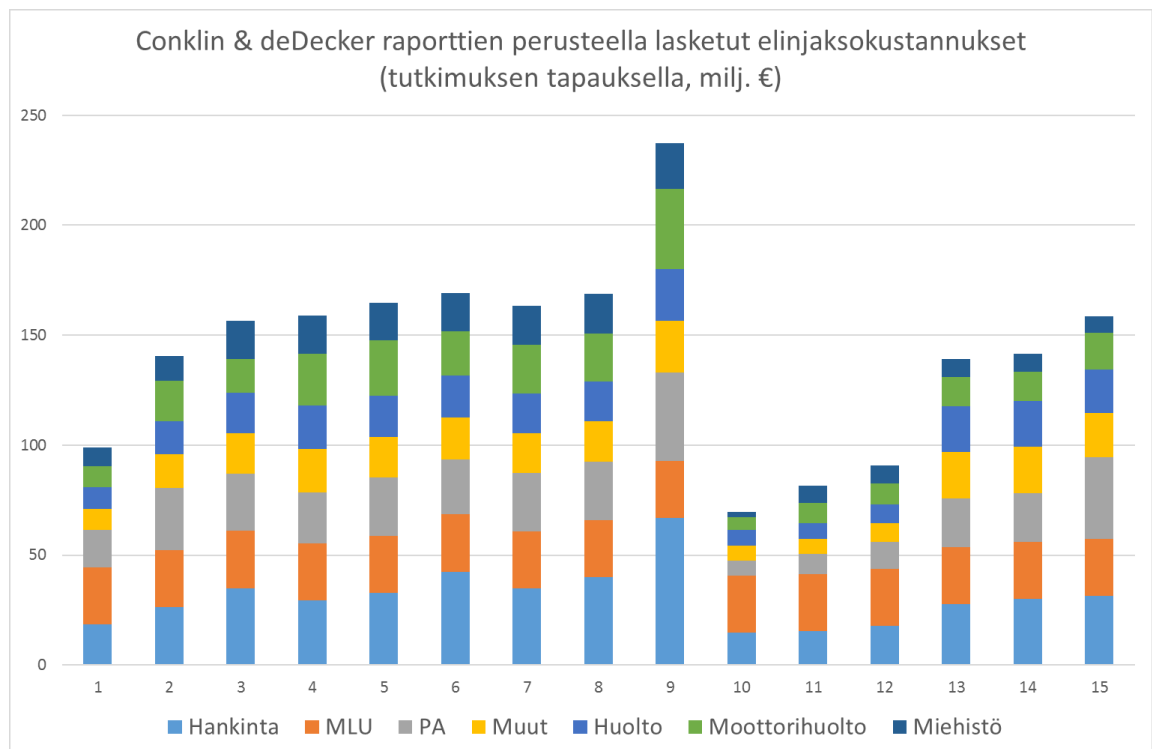
4.7. Conklin & deDecker vertailu

Koska tutkimus on tähän asti toteutettu vain tutkijan omien havaintojen ja julkisten aineistojen
analyysin summan on erittäin tärkeätä varmistaa laskennan luotettavuus ja verrata sitä toiseen
irrationaaliseen laskentamallin. Tässä tutkimuksessa verrataan tutkimuksen laskuria Conklin & de-
Deckerin kustannuslaskentaan. Tutkija ei saanut yrityksistä huolimatta Conklin & deDeckerin

elinjaksokustannuslaskuria avattua, joten kustannuslaskenta perustuu raportteihin, jotka olivat saatavilla. Raportit kertovat pelkistetysti vuosikustannuksen, joka on jaettu kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Conklin & deDeckerin maksullinen Excel lisenssi olisi parantanut vertailun luotettavuutta eikä ylimääräisiä oletuksia olisi tarvinnut tehdä.

Conklin & deDeckerin raportit perustuvat moniin olettamuksiin, jotka ovat luettavissa verkkosivuilla. Käyttäjällä on kuitenkin mahdollisuus valita ja huomioida jokainen kustannus myös manuaalisesti ja tarkastella kustannuksia muuttamalla valitsemiaan kustannuksia. Conklin & deDecker korostaa raporteissaan, että jokaisen ilma-alustyyppin raportti soveltuu vain kyseiselle ilma-alukselle. Näin ollen yhdelle ilma-alukselle tehtyä raporttia ei voi käyttää toisen ilma-aluksen hintojen laskemiseen. Sama tulee huomioida etenkin suihkuturbiini- ja potkuriturbiini-ilma-alusten kustannusvertailussa, koska laskurin olettamukset eroavat toisistaan. [25]

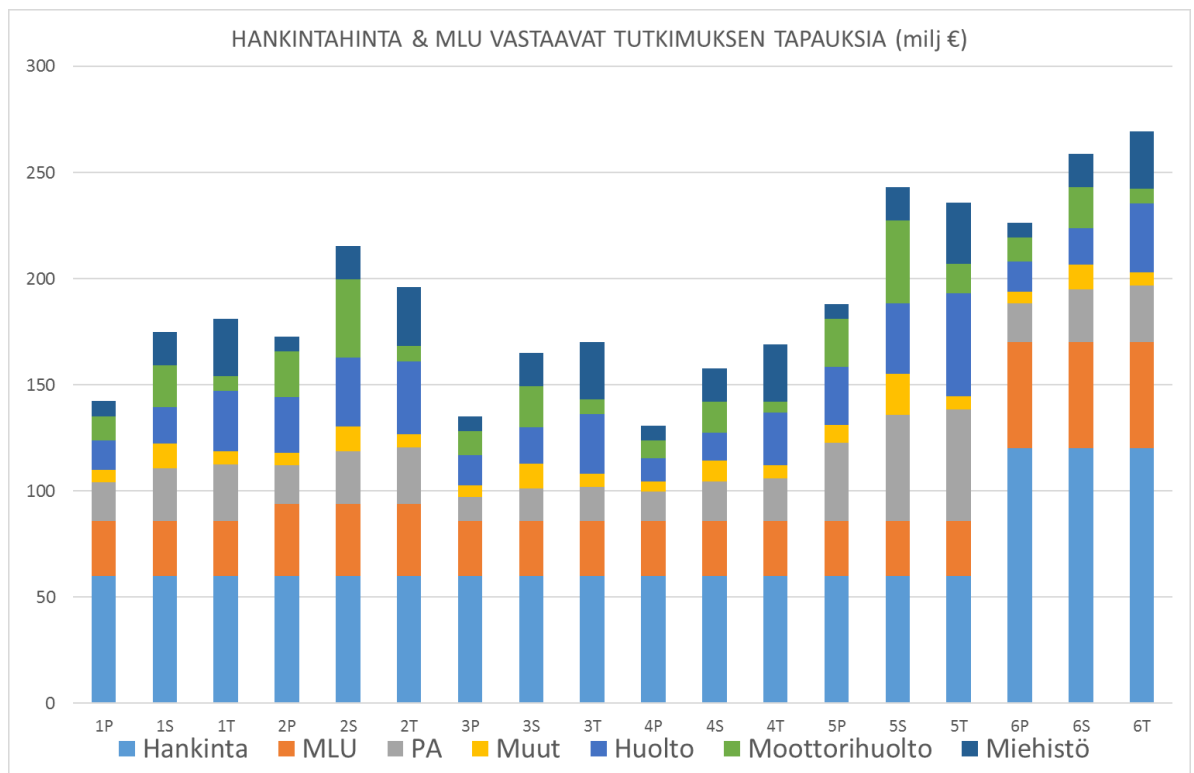
Raporttien ehdoton etu on elinjaksokustannusten tarkastelu ilma-alustyypeittäin. Raporteista ei kuitenkaan selviä, onko elinjaksokustannuksissa mahdollisesti huomioitu materiaalin yksikköhinnan kehitys, polttoaineen hinnan kehitys tai muita muuttuvia kustannuksia. Raporteista ei myöskään selviä, millä talouden kehityksellä kustannuslaskenta on saatu. Tutkija olettaa, että raportin ilmoittama vuosittainen kustannus on ensimmäisenä vuonna sellaisenaan toteutuva. Seuraavat vuodet tutkija loi omaan vertailu Excel laskuriin siten, että käyttäjä voi tarkastaa hinnankkehitysten muutosten vaikutuksen elinjaksokustannuksissa.



Kaavio 27: Conklin & deDeckerin raporttien pohjalta muodostetut elinjaksokustannukset ilma-alus tyypeittäin

Kaavio 27 on eritelty Conklin & deDeckerin raporteista muodostetut elinjaksokustannukset tutkimuksen tapauksen muuttujilla. Kaavio ilma-alukset 1-9 ovat suihkuturbiinimoottoristen ilma-alusten kustannukset ja ilma-alukset 10-15 ovat potkuriturbiini ilma-aluksia. Tässä yhteydessä hankintahinta on ilma-aluksen listahinta, johon on lisätty 10 miljoonaa euroa varustelua varten. Vastaavasti MLU hinnaksi on kaikille ilma-aluksille oletettu 26 miljoonaa euroa. Kaavioista voidaan havaita, että potkuriturbiini ilma-alusten elinjaksokustannukset ovat huomattavasti pienemmät kuin vastaavan kokoisen suihkuturbiinimoottorien ilma-aluksen. Ilma-alukset 1-8 ja 10-12 ovat kokoluokaltaan noin 6-10 matkustajan ilma-aluksia ja 9, 13, 14 ja 15 ovat noin 20 matkustajan ilma-aluksia. Tarkastelussa tulee huomioida Conklin & deDeckerin laskentatapaerot suihku- ja potkuriturbiinimoottoristen ilma-alusten olettamukset lentotoiminnassa [25].

Jotta Kaavio 27 arvoja voitaisi verrata paremmin tutkimuksen laskuriin, tulee hankintahinta suhteuttaa samaan. Tutkija voisi muuttaa oman laskurin hankintahintaa lähemmäksi esitettyjä hankintahintoja 30-50 miljoonaa, mutta tässä tarkastelussa tutkija olettaa hankintahinnan olevan suunnitellun 60 miljoonaa. Vertailun suorittamiseksi tutkija muuttaa ilma-alusten hankintahinnat vastaamaan 60 miljoonan hankintaan suunniteltua arvoa. Lisäksi tutkija muodostaa Kaavio 27 arvoista keskimääräiset arvot potkuri- ja suihkuturbiinimoottoreille.



Kaavio 28: Elinjaksokustannukset suhteutettuna tutkimuksen tapauksiin.

Kaavio 28 esitetään tutkimuksessa käsiteltyjen tapausten ja Conklin & deDeckerin elinjakso-kustannusten vertailu. Kaavion tapaukset on numeroitu palkin alapuolella. Numero 1 tarkoittaa

tämä tutkimuksen tapausta. Tapaus 2 tarkoittaa materiaalin yksikköhinnan nopeaa kehitystä. Tapaus 3 polttoaineen hinnan kehitystä 1 % vuosittaisella olettamuksella. Tapaus 4 kuvaa lentotuntien vähentämistä 200 tunnilla vuosittain. Tapaus 5 kuvaa lentomäärän tuplaamista 1600 lentotuntiin vuosittain ja tapaus 6 kuvastaa kahden ilma-aluksen hankintaa ja ylläpitoa tutkimuksen tapauksen muuttujilla. Kaaviossa numeron jälkeen ilmoitettu kirjain kuvaa aineistoa. P = potkuriturbiini-ilma-alukset, S = Suihkuturbiini-ilma-alukset ja T = tämän tutkimuksen elinjakso kustannuslaskuri.

Kaavio 28 voimme havaita erot suihku- ja potkuriturbiini ilma-alusten välillä. Kaaviosta näkyy, että tässä tutkimuksessa muodostettu laskuri antaa elinjaksolle suurimmat kustannukset. Keskeiset erot kustannuksissa muodostuu polttoaineen, huoltojen ja miehistöjen tarkastelusta. Tutkija olettaa polttoainekustannusten olevan suurempia, kuin mitä Conklin & deDeckerin raportit olettavat. Tämä ero johtuu polttoaineen kulutusmuuttujasta, jonka tutkija arvioi suuremmaksi ja tämän arvon voi manuaalisesti määrittää tutkijan laskurissa. Polttoaineen kulutusero näkyy myös suihku- ja potkuriturbiini ilma-alusten välisessä vertailussa. Potkuriturbiinimoottori kuluttaa vähemmän, mutta sen suorituskyky on erilainen kuin suihkuturbiinimoottorissa.

Toinen keskeinen ero on huoltokustannuksissa. Vertailu osoittaa, että tutkijan laskuri laskee moottorin huoltokustannuksia väärin. Ero johtuu virheestä, missä tutkija on aineistoa kerätessään valinnut vain potkuriturbiinimoottorin huoltokustannukset. Mikäli hankittava suorituskyky olisi suihkuturbiinimoottorillinen ilma-alus tulisi tutkijan laskuria muuttaa vastaamaan myös suihkuturbiinimoottorista muodostuvia kustannuksia. Taulukon arvoja tarkastellessa suihkuturbiinin huolto maksaa noin kaksi kertaa enemmän, kuin potkuriturbiinimoottori elinjaksonsa aikana.

Conklin & deDeckerin huoltokustannuslaskurissa on pyritty huomioimaan lähes kaikki huolto-työ, jota ilma-alus tarvitsee. Laskenta perustuu toteutuneisiin huoltokustannuksiin viimeisimmän 5 vuoden ajalta, joita on kerätty yhteistyökumppaneilta ja valmistajilta. Laskennasta saa tarkemmat tiedot säännöllisistä tarkastuksista, varaosien osuudesta ja työn osuudesta. Tutkijan laskuri osoittaa huoltokustannusten olevan merkittävästi suuremmat kuin Conklin & deDeckerin mallissa. Ero selittyy tutkijan valinnalla tarkastella Do228 huolto-ohjelmaa ja siitä aiheutuneita kustannuksia. Uudemmat ilma-alukset ovat mahdollisesti kevyemmin huollettavia ja huolto-ohjelmia pystyy sovittamaan paremmin käyttöperiaatteen mukaan. Tutkija on myös olettanut viiden henkilön olevan jatkuvasti töissä, sen sijaan että todellinen henkilötyövuosi tarve olisi pienempi.

Kolmantena merkittävänä kustannuserona on miehistön kustannukset. Tutkijan laskurin miehistökustannukset ovat jopa kaksi kertaa suuremmat, mitä Conklin & deDeckerin miehistön kustannukset. Ero johtunee siitä, että Conklin & deDeckerin laskuri olettaa lentämiseen tarvittavan miehistön olevan minimi lentotoiminnan suorittamiseen. Laskuri siis palauttaa vain kahden ohjaajan palkan ja heidän kouluttamiseen tarvittavat kustannukset. Tutkijan olettaus perustuu taas 7 ohjaajan tarpeeseen, mutta palkan on oletettu olevan vain noin 68 000€ vuodessa. Näin mikäli Conklin & deDeckerin miehistö kustannukset kerrotaan kolmella ja tutkijan laskuriin ohjaajien palkka olettaus nostetaan 30 % saadaan tulokset mahdollisesti lähemmän todellisia kustannuksia. Näin miehistön kustannukset ovat jopa yli 30 miljoonaa euroa elinjakson aikana.

Vertailun voi myös tehdä lentotuntihinta vertailuna. Olettamuksena lentotuntihinta vertailussa on, että hankintahinta, elinjakso päivittykseen varattavat kustannukset ovat vakiot, henkilöstön palkka ja muut kiinteät kustannukset pysyvät myös vakioina. Näin ollen lentotunnin hinta muodostuu polttoaineen, huollon ja lentämisestä aiheutuvien kustannusten kokonaisuudesta. Tutkimuksen tapauksessa muodostetut keskimääräiset lentotuntihinnat ja Conklin & deDeckerin ilmoittamat lentotuntihinnat on laskettu kustannuslaskurista. Tutkimuksen laskurissa keskimääräinen lentotunti hinta on noin 1770€/h. Suihkuturbiinimoottoristen ilma-alusten vastaava lentotunti hinta on noin 2200€/h ja potkuriturbiini-ilma-aluksilla noin 1500€/h. Myös tässä vertailussa voidaan huomata, että suihkuturbiini ja potkuriturbiinimoottorisille ilma-aluksille tulisi olla erilliset laskurit. Tässä vaiheessa tutkimuksen laskurissa kulutus ja huoltotarve on oletettu kaikkien ilma-alusten keskiarvona, ja oikeilla muuttujilla lentotunti hinta lähtee liikkumaan kohti oikeaa suuntaa. Tämä tulee huomioida tutkimuksen laskuria käytettäessä.

Kokonaisuudessaan vertailu osoittaa niin hyvät kuin huonotkin puolet tutkimuksen aikana tehdystä laskurista. Hyviä puolia laskurilla on sen parempi sidottavuus juuri rajavartiolaitoksen ilmailuun ja sen erityispiirteisiin. Laskurin heikkous on vielä sen luotettavuus ja tarkkuus. Conklin & deDeckerin laskurin hyödyntäminen kustannuslaskennassa on myös suotavaa, mikäli laskentaan pystytään manuaalisesti korjaamaan juuri rajavartiolaitoksen ilma-aluksille tyypilliset kustannukset. Vertaamalla näitä laskureita myös jatkossa voidaan nostaa esille juuri elinjaksonhallinnassa keskeisiä riskejä ja olettamuksia, joilla laskenta on muodostettu.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1. Valvontalentokoneen elinjaksokustannusten huomiointi osana rajavartiolaitoksen valvontalentokoneen elinjaksonhallintaa

Tutkimuksen päätutkimuskysymys oli siis seuraava: Miten valvontalentokoneesta aiheutuvat elinjaksokustannukset tulee huomioida elinjaksonhallinnassa?

Korvaavan ilma-aluksen elinjaksonhallinnassa tulee jatkuvasti huomioida elinjaksokustannusten vaikutus ja kertyminen jokaisessa elinjakson vaiheessa. Tutkimuksessa useassa kohdassa on huomattu laskennasta mahdollisesti poikkeavia kehityksiä ja siten muuttuvia parametreja tulee huomioida mahdollisimman reaaliaikaisesti. Näitä muutoksia ovat polttoaineen hinnan kehitys ja siihen liittyvät päätökset, henkilöstön kustannusten vaihtelu ja elinjakson vaiheeseen sidotun henkilöstön määrä samoin varaosien hintakehitystä ja saatavuutta tulee seurata erityisesti käyttö- ja tukivaiheen aikana.

Konsepti- ja määrittelyvaiheessa tulee järjestelmälle asettaa tarkat vaatimukset ja tehtävä kuvaukset, parhaimman elinjaksosuunnitelman laatimiselle. Suorituskykyjen tulee vastata tehtävätarvetta ja hankinnan yhteydessä ne pitää pystyä todentamaan. Tarkoilla määrityksillä vaikutetaan eniten elinjakson aikana muodostuviin kustannuksiin. Tämän tutkimuksen mukaan konsepti- ja määrittelyvaiheessa tehdyt päätökset vaikuttavat eniten elinjaksosta syntyviin kustannuksiin. Valvontalentokoneelle asetetut suorituskykyvaatimukset vaikuttavat ensi sijassa polttoaineen kulutukseen, tarvittavan miehistön ja operoinnin kuluihin. Mitä nopeammin ja luotettavimmin halutaan ilma-alus tehtävälle, sitä enemmän tarvitaan päivystystä ja ilma-aluksia. Ilma-alusten määrä lisää merkittävästi huoltotyömäärää ja varaosien ja laitteiden kulutusta, etenkin jos huolto-ohjelma on sidottu kalenteriaikaiseen huoltorytmiin.

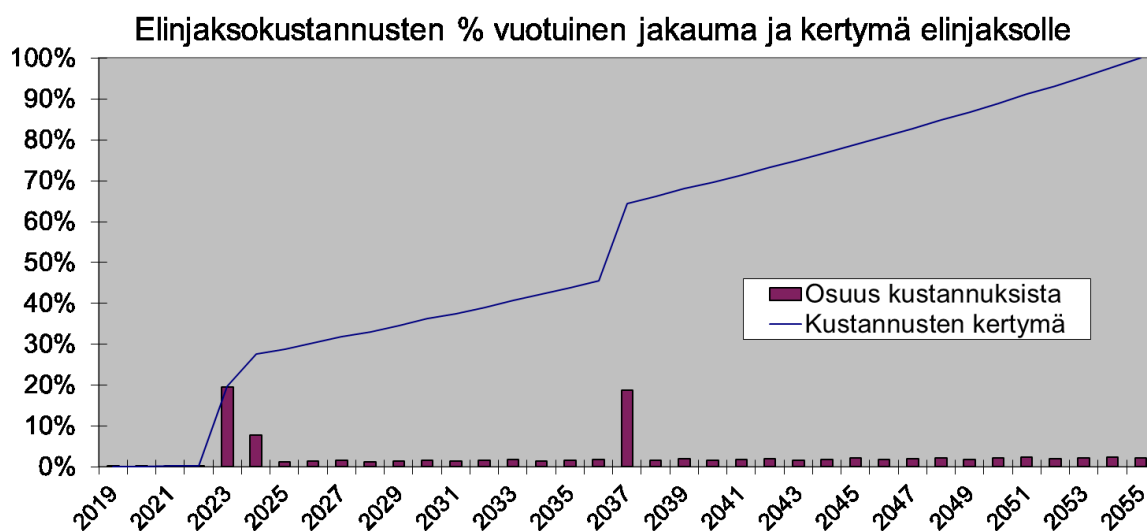
Elinjaksonhallinnassa tulee alkuvaiheessa panostaa suunnitteluun ja prosessien järjestelmälliseen toteuttamiseen. Hyvällä suunnittelulla ja määrityksillä pystytään tekemään tarkkoja elinjaksokustannuslaskelmia ja vasta siten vertailla vaihtoehtoja ja kehitysten herkkyyttä kyseessä vertailussa. Mikäli suunnitelmia muutetaan, tulee kustannuslaskelman päivittyä ja olla päivitetävissä työryhmän tarpeiden mukaan. Kustannuslaskelma pitää siis tehdä useita kertoja erilaisiin tilanteisiin, jotta siitä saatava hyöty olisi paras mahdollinen päätöksiä tehdessä.

Kustannuslaskennan laadukas käyttäminen ja monimuotoisuus mahdollistavat useiden riskien tunnistamisen ja jopa vaikutusten osoittamisen. Näitä piileviä riskejä tulisi pystyä esittämään hallittuina kokonaisuuksina, jotta päätöksentekijä tiedostaa valintansa ja hyväksyy aiheelliset riskit. Jotta riskit olisi paremmin havaittavissa, tulee elinjaksokustannuslaskennassa hyödyntää useita laskentatapoja. Tämän tutkimuksen laskuri voisi sellaisenaan toimia yhtenä vertailevana

laskentamallina. Laskurien ja elinjaksokustannuslaskennan tarkoitus on tukea päätöksentekoa elinjaksonhallinnan aikana.

Luvun 4.6. ja 4.7. tehtyjen havaintojen perustella valvontalentokoneen elinjaksokustannukset noudattavat yleisesti tiedostettua kustannusjakaumaa, jossa käyttö- ja tukivaiheen aikana muodostuu noin 75 % koko elinjakson hinnasta. Tarkemmat tulokset on esitetty mainituissa luvuissa. Tuloksista voimme myös havaita, että käyttökonseptin ja erilaisten tulevaisuuden kehitysten perusteella elinjaksokustannukset vaihtelevat kymmeniä miljoonia euroja. Voimme siis todeta, että varhaisissa vaiheissa tehdyt päätökset vaikuttavat eniten elinjaksokustannusten syntyyn ja elinjaksokustannuslaskentaa tulee jatkuvasti tarkentaa elinjakson vaiheessa.

Tulevaisuuden ennustaminen ja sen vaikutus elinjaksonhallintaa tulee tarkastella kaikkien riskien välttämiseksi, koska suurin osa kustannuksista maksetaan vasta tulevaisuudessa. Kaavio 29 osoittaa elinjaksokustannusten kertymisen elinjaksokustannuslaskurista. Kaaviossa voi havaita sekä hankinta, että elinjaksopäivityksen vaikutukset, mutta muutoin käyttö- ja tukivaiheen aikana kustannukset kertyvät tasaisemmin. 30-vuoden aikana talouden kehitys voi merkittävästi muuttaa kustannuksia ja pahimmillaan varattu budjetti ei riitä järjestelmän ylläpitämiseen. Kustannuksia tulee siis pystyä seuraamaan ja kustannusten yllättäviin muutoksiin pitää pystyä varautumaan.



Kaavio 29: Elinjaksokustannusten % vuotuinen jakauma ja kertymä elinjaksolle, muokattu lähteestä [11]

Keskeiset muutokset, joihin ei voida varautua ovat polttoaineen hinnan kehitys, reaalikoron kehitys, materiaalin yksikköhintojen kehitys ja henkilöstön palkkakulujen kehitys. Kustannukset joihin voidaan vaikuttaa konsepti- ja määrittelyvaiheissa ovat: polttoaineen kulutus, vuosittainen lentotuntimäärä, tarvittavan miehistön määrä, huollon ostaminen tai itse huoltaminen ja

järjestelmien lukumäärä. Suunnitelmissa voidaan varautua elinjaksopäivityksiin ja modifikaatioihin, mutta niiden ennakointi tarkalleen voi olla haastavaa. Välillisesti suunnittelussa voidaan ottaa huomioon lentokoneen vikaantuminen tai sen laitteiden vikaantuminen ja siten tarvittavien varaosien kustannukset. Myös keskeisten laitteiden kuten moottoreiden kustannuksia on syytä seurata ja vertailla elinjaksonaikana.

Elinjaksonhallinnassa johtajien tulee kiinnittää huomiota kokonaisuuden hallintaan. Elinjaksoauditoinnit ja niiden pohjalta tehtävät elinjaksopäätökset vievät kokonaisuutta säännönmukaisesti eteenpäin. Lisäksi johtajan tulee pystyä huomioimaan Vertasen esittämät konfliktit ja intressiristiriidat. Parhaimman lopputuloksen saavuttamiseksi elinjaksonhallinta tulee ottaa vakavasti heti konseptivaiheen alusta alkaen.

Standardit ohjaavat prosessinomaiseen elinjaksonhallintaan, jolloin kokonaisuus ja sen välituotteet ovat selkeitä ja kokonaisuus etenee johdonmukaisesti. Myös valvontalentokoneen elinjaksonhallinnassa tulisi kiinnittää huomiota prosessien toteuttamiseen. Elinjaksonhallinnassa tulee kiinnittää huomioita dokumentointiin ja asioiden hallintaan, tätä toimintaa tukee elinjaksoprosessit. Näin elinjakson aikana tehty päätökset, oletukset ja muutokset voidaan havaita ja hallita. Kun elinjakso on pitkä, tulee huomioida myös henkilöstön vaihtuminen. Riittävällä dokumentoinnilla pystytään parantamaan myös RAM-analyysiä ja siten arvioimaan tulevaisuutta luotettavammin.

5.2. Luotettavuus ja hyödynnettävyys

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli luoda rajavartiolaitokselle käyttökelpoinen elinjaksonhallintaa tukeva elinjaksokustannuslaskuri ja elinjaksomalli. Tavoitteena oli löytää oleelliset kustannukset ja huomioida niiden vaihteluiden vaikutus osana koko valvontalentokoneen elinjaksokustannuksia. Tutkimuksessa on puutteellisista tiedoista johtuen jouduttu tekemään oletuksia, joiden vaikutukset on pyritty osoittamaan tutkimuksen edetessä.

Tutkimuksessa vertailtiin useita lähteitä luotettavuuden parantamiseksi. Laskureiden luotettavuus on kuitenkin niin tarkka, kuin sinne viedyn aineiston tarkkuus. Luotettavuutta pystyttäisi parantamaan tilastojen vertailuilla ja siten kustannuksista voitaisi muodostaa todellisemmat. Conklin & deDeckerin vertailusta löydetty poikkeamat ja eroavaisuudet tulee huomioida laskuria käytettäessä. Tämä tutkimus pyrkii ennustamaan tulevaisuutta ja siten laskuria tulisi käyttää huomioimalla kaikki oleelliset riskit elinjaksonhallinnassa ja elinjaksokustannuslaskennassa.

Tutkimus on suoraan hyödynnettävissä elinjaksonhallintaa ja elinjaksokustannuslaskentaa suunniteltaessa. Tutkimus osoittaa useita lähteitä ja lähteiden välisiä yhtäläisyyksiä ja siten lisää

tietoisuutta elinjaksonhallinnasta. Tutkimus antaa elinjaksokustannuslaskennalle hyvän pohjan, jota pystyy ja pitää täydentää tietopyyntöjen tarkoilla muuttujilla.

Kustannuslaskuri ei tällaisenaan palvele käynnissä olevaa hanketta, sen epäkäytännöllisyydestä johtuen. Laskuri kuitenkin tukee erittäin hyvin Conklin & deDeckerin laskurin luotettavuuden tarkastelua. Conklin & deDeckerin kaupallinen kustannuslaskuri on erittäin hyvin rakennettu ja muotoiltu käyttäjäystävälliseksi. Palvelua käytettäessä on kuitenkin hyvä tiedostaa elinjakso-kustannuslaskennan perusteet ja rajavartiolaitoksen ilma-alukselle oleelliset kustannukset ja niiden syntyminen. Näin Conklin & deDeckerin palvelua käytettäessä, pystytään asettamaan oikeat kustannukset oikeaan paikkaan ja arvioimaan palvelun tuottamaa tulosta. Conklin & deDeckerin laskuri noudattaa samaa laskennan luotettavuutta, kuin sinne viedyn datan luotettavuus edustaa.

5.3. Jatkotutkimustarpeet ja kehitysehdotukset

Kuten tapaustutkimuksen luonteeseen kuuluu, tulee kehitettyä mallia voida ja pystyä tarkastelemaan muuttamalla tapauksia. Tätäkin tutkimusta voisi lähestyä erilaisesta tapauksesta, jossa käsiteltävät ilma-alukset olisivat helikoptereita tai kaupallisia reittilentokoneita. Myös tapaus-ten tarkentaminen tiettyyn skenaarioon tai tiettyyn ilma-alukseen johtaisi tässä tutkimuksessa kartoitetun tiedon syventymiseen ja tarkentamiseen.

Tässä tutkimuksessa luotua laskuria tulee edelleen päivittää ja kehittää uusimpien tilastojen ja muuttujien osalta. Myös vertailussa tehdyt havainnot tulee päivittää tapauskohtaisesti. Mootto-rihuolto, määräaikaishuolto ja miehistön laskurit tulee tarkastaa ja sitoa tarkastettavaan tapaukseen luotettavimpien tietojen muodostamiseksi. Kustannuslaskurin voisi rakentaa siten, että sitä voisi vaivatta käyttää myös helikoptereille ja siten huomioida helikopterin oleelliset kustannukset.

Tämän tapaustutkimuksen väitteitä tai olettamuksia tulisi tutkia kriittisesti ja uusien tarkempien arvioiden pohjalta. Talouden kehitys, materiaalihintojen kehitys ja tulevaisuuden muuttujien selvittäminen tarkentaisi kustannuksia kohti todellista toteumaa.

LÄHTEET

- [1] Määräys Dornier-valvontalentokoneiden suorituskykyjen korvaamishankeen toimeenpano, RVL1826755 RVLDno-2018-1423. Rajavartiolaitoksen esikunta: Raja- ja meriosasto, 2019. (Sivumäärä 8).
- [2] L 15.7.2005/578. Rajavartiolaitaki.
- [3] L 30.11.2001/1145. Meripelastuslaki.
- [4] L 29.12.2009/1672. Merenkulun ympäristönsuojelulaki.
- [5] L 29.4.2011/379. Pelastuslaki.
- [6] Rajavartiolaitoksen strategia 2027 [verkkajulkaisu]. Rajavartiolaitos. Internet, Rajavartiolaitos. [viitattu 29.8.2019]. Saatavissa: <https://www.raja.fi/rajavartiolaitos/strategia>.
- [7] Jokela, M. & Ojala, J. *Elävä raja*. 1.Painos. Imatra: Rajavartiolaitos, 2015. 104 s. ISBN 978-952-491-917-3.
- [8] Rajavartiolaitoksen vuosikertomus 2018 [verkkajulkaisu]. Rajavartiolaitos. Internet, Rajavartiolaitos. [viitattu 28.01.2020]. Saatavissa: https://www.raja.fi/tietoa/suunnittelun_ja_seurannan_asiakirjat.
- [9] Rajavartiolaitoksen tulossuunnitelma 2020 sekä toiminta- ja taloussuunnitelma 2021-2024, RVL1936109 RVLDno-2019-4. Rajavartiolaitoksen esikunta: Suunnittelu- ja talousyksikkö. 17.12.2019. (Sivumäärä 39).
- [10] RTO Technical Report Task Group SAS-054. *Methods and Models for Life Cycle Costing*. Technical report. NATO: RTO, 2007. 226 s. ISBN 978-92-837-0072-2.
- [11] Joukon ja järjestelmän elinjakson hallinta, PVOHJEK-PE Elinjaksonhallinta 001 - PE-LOGOS, HN917. Helsinki: Pääesikunnan logistiikkaosasto, 22.12.2017. (Sivumäärä 30).
- [12] Valtiontalouden tarkastusvirasto. *Selvitys: Omaisuuksien elinkaaren hallinnan ohjeet*. Helsinki: Grano Oy, 2019. 60 s. ISBN 978-952-499-447-7 (pdf) Saatavissa: <https://www.vtv.fi/app/uploads/2019/01/14093858/VTV-Selvitys-1-2019-Omaisuuksien-elinkaaren-hallinnan-ohjeet.pdf>.
- [13] Eriksson, P. Koistinen, K. *Monenlainen tapaustutkimus*. 2 julkaisu. Helsinki: Kuluttajatutkimuskeskus, 2014. 65 s. ISBN 978-951-698-283-3 (pdf).
- [14] Deacon, D. Bryman, A. & Fenton, N. *Collision or collusion? A discussion and case study of the unplanned triangulation of quantitative and qualitative research methods*.

- International Journal of Social Research Methodology. Volume 1 (1998). Pages 47-63. Published online 03.7.2004 [viitattu 19.3.2020]. Saatavissa: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13645579.1998.10846862>.
- [15] Metsämuuronen, J. *Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä*. Helsinki: International Methelp, 2002. 740 s. ISBN 952-5372-12-X.
- [16] Päätös Dornier-valvontalentokoneiden suorituskykyjen korvaamishankkeen jatkaminen, RVL1929735 RVL Dno-2018-1423. Rajavartiolaitoksen esikunta, 29.10.2019. (Sivumäärä 2).
- [17] ISO/IEC/IEEE 15288:2015(E). Systems and software engineering - Systems life cycle processes. Published in Switzerland: ISO copyright office, 2015. 108 s.
- [18] Dhillon, B.S. *Life Cycle Costing for Engineers*. 1st Edition. Florida: CRC Press, 2009. 204 s. ISBN 978-1-4398-1688-2.
- [19] Farr, J.V. *Systems Life Cycle Costing*. Version date 20110509. Florida: CRC Press, 2011. 300 s. ISBN 978-1-4398-2891-5.
- [20] ISO/IEC/IEEE 24748-1:2018(E). Systems and software engineering - Part 1: Guidelines for life cycle management. Published in Switzerland: ISO copyright office, 2018. 75 s.
- [21] Kosola, J. *Suorituskyvyn elinjakson hallinta*. 1. Painos. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, sotatekniikanlaitos, 2007. 497 s. ISBN 978-951-25-1816-6.
- [22] RTO Publication SAS-069. *Code of Practice for Life Cycle Costing*. NATO: RTO, 2009. 52 s.
- [23] Doganis, R. *Flying off course- The Economics of international Airlines*. 2nd edition. London: Routledge, 1991. 362 s. ISBN 0-415-08439-3.
- [24] Conklin & deDecker Report [verkkojulkaisu]. Conklin & deDecker. Internet, Conklin & deDecker. 2020 [viitattu 20.3.2020]. Saatavissa (edellyttää kirjautumista): <https://report.conklindd.com/search>.
- [25] Conklin & deDecker. Report Methodology & Glossary [verkkojulkaisu]. Conklin & deDecker. Internet, Conklin & deDecker. 2020 [viitattu 20.3.2020]. Saatavissa: <https://report.conklindd.com/glossary#field-lengths>.
- [26] SFS-ISO 55000:2014. Omaisuudenhallinta. Yleiskuvaus, periaatteet ja termit. Asset management. Overview, principles and terminology. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS, 2014. 45 s.

- [27] Mazzi, A. *Introduction. Life cycle thinking*. In: Ren, J & Toniolo, S. *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making Methodologies and Case Studies*. Amsterdam: Elsevier, 2019. s. 362. ISBN 978-0-12-818355-7.
- [28] Vertanen, M. *Elinjaksokustannuslaskennan konfliktit elinjaksomallin kontekstissa*. Diplomityö. Maanpuolustuskorkeakoulu, 2019. Maanpuolustuskorkeakoulu, sotatekniikka, sotatalous, yleisesikuntaupseerikurssi. 91 s.
- [29] Valli, R. *Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1*. 5 uudistettu painos. Jyväskylä: PS-kustannus, 2018. 280 s. ISBN 978-952-451-824-6.
- [30] RTO Technical Report Task Group SAS-076. *NATO Independent Cost Estimating and the Role of Life Cycle Cost Analysis in Managing the Defence Enterprise*. NATO: RTO, 2012. 20 s. ISBN 978-92-829-0162-0.
- [31] Puolustusvoimien toiminta, PVOHJEK-PE HN707. Helsinki: Pääesikunta, 23.11.2017. (Sivumäärä 13).
- [32] Galar, D. Sandborn, P. Kumar, U. *Maintenance Costs and Life Cycle Cost Analysis*. 1st Edition. Florida: CRC Press, 2017. 492 s. ISBN 978-1-4987-6954-9.
- [33] Sotatalouden perusteet oppitunti. Helsinki elokuu 2019, Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikanlaitos. Luentomateriaalit. SM sotatalouden perusteet 4C05 opintojakso.
- [34] Yang, S. Ma, K. Liu, Z. Ren, J. & Man, Y. *Development and applicability of life cycle impact assessment methodologies*. In: Ren, J & Toniolo, S. *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making Methodologies and Case Studies*. Amsterdam: Elsevier, 2019. s. 362. ISBN 978-0-12-818355-7.
- [35] Rajavartiolaitoksen Vuorikertomus 2010 [verkkojulkaisu]. Rajavartiolaitos. Internet, Rajavartiolaitos. [viitattu 29.01.2020]. Saatavissa: https://www.raja.fi/tietoa/suunnittelun_ja_seurannan_asiakirjat.
- [36] Ketokivi, M. *Tilastollinen päättely ja tieteellinen argumentointi*. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press, 2009. 241 s. ISBN 978-951-570-778-9.
- [37] Hankeohje, PVOHJEK-PE Hankeohje 001 - PELOGOS, HN918. Helsinki: Pääesikunnan logistiikkaosasto, 22.12.2017. (Sivumäärä 26).
- [38] Rajavartiolaitoksen tilinpäätös 2015 [verkkojulkaisu]. Rajavartiolaitos. Internet, Rajavartiolaitos. [viitattu 30.01.2020]. Saatavissa: https://www.raja.fi/tietoa/suunnittelun_ja_seurannan_asiakirjat.

- [39] USA Department of defense. *Military handbook - electronic reliability design handbook*. Department of defense United States of America. 1.10.1998. MIL-HDBK-338B. Saatavissa: <http://www.everyspec.com>.
- [40] Rajavartiolaitos. *Jatkuvan lentokelpoisuuden hallintaorganisaation käsikirja*. Rajavartiolaitos. Vartiolennotlaivue, 30.9.2019 muutos 9. s.112.
- [41] Asetus (EU) 2018/1139. Asetus yhteisistä siviili-ilmailua koskevista säännöistä.
- [42] Moubray, J. *Reliability-centered Maintenance*. Second edition. Woburn Great Britain: Oxford, 1997. 220 s. ISBN 0750633581.
- [43] Morris, S. System reliability engineering - Maintainability Theory [verkkojulkaisu]. Internet, Reliability Analytics Blog, 2011. Päivitetty 3.9.2011. [viitattu 27.2.2020] Saatavissa: <http://www.reliabilityanalytics.com/blog/2011/09/03/maintainability-theory/>.
- [44] Airbus helicopters. *ALS Airworthiness limitations H215 L1- Use of the ALS*. ORION-web portal: Airbus helicopters, rev: 004.
- [45] Taistelujärjestelmän luotettavuus oppitunti. 17.8.2018. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotateknikanlaitos. Luentomateriaalit. SM Järjestelmäteknikan perusteet 4C04 opintojakso.
- [46] ABB:n TTT-Käsikirja 2000-07 - Luku 23: Kunnonvalvonta ja huolto [Verkkojulkaisu]. Helsinki: ABB Oy. [Viitattu 3.2.2020]. Saatavissa: http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/23_Kunnonvalvonta%20ja%20huolto.pdf.
- [47] Rajavartiolaitoksen tilinpäätös 2002 [verkkojulkaisu]. Rajavartiolaitos. Internet, Rajavartiolaitos. [viitattu 30.01.2020]. Saatavissa: https://www.raja.fi/tietoa/suunnittelun_ja_seurannan_asiakirjat.
- [48] Rajavartiolaitoksen tilinpäätös 2018 [verkkojulkaisu]. Rajavartiolaitos. Internet, Rajavartiolaitos. [viitattu 30.01.2020]. Saatavissa: https://www.raja.fi/tietoa/suunnittelun_ja_seurannan_asiakirjat.
- [49] Suomen virallinen tilasto (SVT): Ansiotasoindeksi [verkkojulkaisu]. ISSN=1796-3737. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 4.2.2020]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/ati/index.html>.
- [50] Saari, A. Kannattavuus- ja elinkaarilaskennan matematiikka [luentoesitys & luentomoniste]. Lapin Ammattikorkeakoulu. Internet, Lapin Ammattikorkeakoulu. [viitattu 06.02.2020]. Saatavissa: <http://web.lapinamk.fi/jouko.teeriaho/Elinkaarilaskentaa.pdf>.

- [51] Kanninen, O. Kestävyyssvajelaskeman korko-oletus on varmasti väärin. Onko se ongelma? [kommentti]. Palkansaajien tutkimuslaitos. Internet. Palkansaajien tutkimuslaitos. 01.09.2019. [viitattu 21.2.2020] Saatavissa: <https://www.labor.fi/ptblogi/2019/01/09/kestavyysvajelaskelman-korko-oletus-on-varmasti-vaarin-onko-se-ongelma/>
- [52] Kivistö, J. *Suomen julkisen talouden kestävyys* [verkko artikkeli]. Euro ja talous. (18.12.2018) 5/2018. 18.12.2018 [viitattu 07.02.2020]. Saatavuus Euro ja talous 5/2018 ja <https://www.eurojatalous.fi/fi/2018/5/suomen-julkisen-talouden-kestavyys/>.
- [53] Lehtonen, J. Anteroineen, J. *Puolustusmateriaalin hintakehitys - tehokkuutta rahalla*. Tiede ja Ase. (2015) 71, s.152-172. 08.02.2015 Saatavuus Tiede ja Ase 71. ja <http://docplayer.fi/24752454-Puolustusmateriaalin-hintakehitys-tehokkuutta-rahalla.html>.
- [54] Puolustusministeriö. *Osastrategia: Puolustushallinnon materiaalipolitiikka*. Helsinki: Puolustusministeriö. 22 s. ISBN 978-951-25-2226-2 pdf.
- [55] Härkönen, R. Ikaloput valvontalentokoneet lopettavat lentämisen viiden vuoden kuluttua – Suomen rajaturvallisuuden säilyttäminen vaatisi 350 miljoonan kalustosatsausta [internet uutinen]. Kaleva, verkkosivut, 14.2.2020. [viitattu 19.2.2020] Saatavuus: <https://www.kaleva.fi/uutiset/kotimaa/ikaloput-valvontalentokoneet-lopettavat-lentamisen-viiden-vuoden-kuluttua-suomen-rajaturvallisuuden-sailyttaminen-vaatisi-350-miljoonan-kalustosatsausta/835252/>.
- [56] Tuominen, T. Rajavartiolaitoksen Dornier-koneille etsitään korvaajaa - myös uusia aluksia tarvitaan [internet uutinen]. Lentoposti, verkkosivut, 18.2.2020. [viitattu 19.2.2020] Saatavuus: https://www.lentoposti.fi/uutiset/rajavartiolaitoksen_dornier_koneille_etsit_n_korvaajaa_my_s_uusia_aluksia_tarvitaan.
- [57] Kauppalehti. Valuuttakurssi ja kehitys [valuuttalaskin]. Kauppalehti, verkkosivut, 19.2.2020 [viitattu 19.2.2020] Saatavuus: <https://www.kauppalehti.fi/porssi/valuutat/EURUSD>.
- [58] Rahanarvonmuunnin [verkkolaskuri]. Tilastokeskus. Internet, Tilastokeskus. [viitattu 17.2.2020]. Saatavissa: <https://www.stat.fi/tup/laskurit/rahanarvonmuunnin.html>.
- [59] Janes. *Turkey selects ATR 72 for maritime patrol*. Jane's [Online]. Jane's Navy International (2005). 25.2.2005 [viitattu 07.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jni01617-jni-2005>.

- [60] Janes. *Leonardo ATR 42 MP Surveyor*. Jane's [Online]. Jane's Aircraft Upgrades (2018). 22.6.2018 [viitattu 07.02.2020]. Saatavuus https://janes.ihs.com/Janes/Display/jau_a215-jau_.
- [61] Janes. *HAL (Dornier) 228*. Jane's [Online]. Jane's All the World's Aircraft (2019). 8.10.2019 [viitattu 17.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jawa0393-jawa>.
- [62] Janes. *C295 MPA /ASW*. Jane's [Online]. Jane's All the World's Aircraft (2020). 29.1.2020 [viitattu 17.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jawa0984-jawa>.
- [63] Janes. *De Havilland Canada Dash 8-400*. Jane's [Online]. Jane's All the World's Aircraft (2020). 28.01.2020 [viitattu 07.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jawa0096-jawa>.
- [64] Janes. *Cessna 680A Citation Latitude*. Jane's [Online]. Jane's All the World's Aircraft (2019). 21.10.2019 [viitattu 07.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jawab282-jawa>.
- [65] Janes. *Cessna 700 Citation Longitude*. Jane's [Online]. Jane's All the World's Aircraft (2019). 18.10.2019 [viitattu 07.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jawab308-jawa>.
- [66] Janes. *Bombardier BD-100 Challenger 350*. Jane's [Online]. Jane's All the World's Aircraft (2019). 20.11.2019 [viitattu 17.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jawab439-jawa>.
- [67] Janes. *Bombardier CL-600 Challenger*. Jane's [Online]. Jane's All the World's Aircraft (2019). 25.11.2019 [viitattu 17.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jawa0089-jawa>.
- [68] Janes. *Gulfstream G280*. Jane's [Online]. Jane's All the World's Aircraft (2019). 22.01.2019 [viitattu 17.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jawaa754-jawa>.
- [69] Janes. *Gulfstream G550*. Jane's [Online]. Jane's All the World's Aircraft (2019). 2.5.2019 [viitattu 17.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jawa1289-jawa>.
- [70] Janes. *Pilatus PC-24*. Jane's [Online]. Jane's All the World's Aircraft (2019). 9.10.2019 [viitattu 17.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jawab339-jawa>.

- [71] Janes. *Dornier/HAL/RUAG Aviation Do 228/Do 228NG surveillance and information warfare variants*. Jane's [Online]. Jane's C4ISR & Mission Systems: Air (2018). 2.11.2018 [viitattu 17.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jemaal14-jc4ia>.
- [72] Jane's. *Maritime patrol aircraft (MPA) Trends and development of fixed-wing manned maritime patrol aircraft*. Jane's Air platforms —Jane's Defence Insight Report (2018) 3.12.2018. [Viitattu 19.2.2020]. Saatavuus https://janes.ihs.com/Janes/Display/FG_1336206-JDIR.
- [73] Janes. *MSS 6000 maritime surveillance system*. Jane's [Online]. C4ISR & Mission Systems: Air (2019). 4.6.2019 [viitattu 19.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jeos1208-jc4ia>.
- [74] Janes. *Seaspray series maritime surveillance radars*. Jane's [Online]. C4ISR & Mission Systems: Air (2020). 14.2.2020 [viitattu 19.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jrew0486-jc4ia>.
- [75] Janes. *APS-143B(V)3/-143C(V)3 OceanEye™*. Jane's [Online]. C4ISR & Mission Systems: Air (2020). 14.2.2020 [viitattu 19.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jrew0505-jc4ia>.
- [76] Janes. *Blue Kestrel series maritime surveillance radars*. Jane's [Online]. C4ISR & Mission Systems: Air (2020). 14.2.2020 [viitattu 19.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jrew0484-jc4ia>.
- [77] Janes. *Searchwater series surveillance radars*. Jane's [Online]. C4ISR & Mission Systems: Air (2020). 4.2.2020 [viitattu 19.02.2020]. Saatavuus <https://janes.ihs.com/Janes/Display/jrew0485-jc4ia>.
- [78] Hyhkö, H. Tilastotieteen johdantokurssi [luentomonisteet] Helsingin yliopisto. kevät 2013. [viitattu 19.2.2020] Saatavuus: <https://www.mv.helsinki.fi/home/hyhko/jo13kv/Kalvot2.pdf>.
- [79] Patria. Lentäjäksi Norralle - Vuoden 2020 koulutushaku on alkanut! Patria Pilot Training, internetkotisivut. [viitattu 20.02.2020] Saatavuus: <https://www.patriagroup.com/fi/palvelut/ammattilentajakoulutus/lentajaksi-norralle>.
- [80] Suomen lentäjäliitto. Lentokoulutuksen hinta. Suomen lentäjäliitto, internetkotisivut. [viitattu 20.02.2020] Saatavuus: <https://www.fpapilots.fi/tie-lentajaksi/lentokoulutuksen-hinta.html>.

- [81] Puolustusministeriö. *Jatkoselvitys siviili- ja sotilasilmailun alkeis- ja peruslentokoulutuksen yhteistyömahdollisuuksista*. Helsinki: Puolustusministeriö, 2014. 48 s. ISBN 978-951-25-2565-2 pdf.
- [82] B412 EASA B1.3 Tyypikurssi Käsky, RVL1740639 RVLdno-2017-67. Vartiolentolaivue esikunta: henkilöstötoimisto, 09.01.2018. (sivumäärä 3).
- [83] Kilpi, J. *Valuation of rotatable spare parts*. Helsinki, Helsinki School of Economics, 2007. 25 s. ISBN 978-952-488-197-5.
- [84] Forecast International. The Market for Aviation Turboprop Engines - Product Code #F641 [verkkojulkaisu]. Forecast international. December 2010. [viitattu 11.3.2020] Saatavissa: https://www.forecastinternational.com/samples/F641_CompleteSample.pdf.
- [85] P&WC. PW100/PW150. Pratt & Whitney Canada, [verkkojulkaisu]. [viitattu 11.3.2020] Saatavissa: <https://www.pwc.ca/en/products-and-services/products/regional-aviation-engines/pw100-150>.
- [86] Rajavartiolaitoksen tilinpäätös 2010 [verkkojulkaisu]. Rajavartiolaitos. Internet, Rajavartiolaitos. [viitattu 21.02.2020]. Saatavissa: https://www.raja.fi/tietoa/suunnittelun_ja_seurannan_asiakirjat.
- [87] Manka, M-L. Hakala, L. *Henkilöstötunnusluvut johtamisen tukena - Tukea tuottavuuden ja yhteistyön hyvinvoinnin kehittämiseen*. Tampere: Tutkimus- ja koulutuskeskus Synergos Tampereen yliopisto, 2011. 29 s. ISBN 978-951-44-8570-1.
- [88] Elinkeinoelämän keskusliitto. Henkilöstörakenteet 2017 Palkkatilastot. Elinkeinoelämän keskusliitto, lokakuu 2018 [viitattu 21.02.2020]. Saatavuus: https://ek.fi/wp-content/uploads/Henkilostorakenteet-2017-23102018_final_2.pdf.
- [89] VLLV:n koulutussuunnitelma 2015 - IR(H)-lentokoulutus Käsky, ID3114781 RVLdno/2015/64. Vartiolentolaivue: lentotoimisto, 15.4.2015. (sivumäärä 4).
- [90] Euroopan komissio. Komission kertomus Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle: Energian hinnat ja kustannukset Euroopassa. Bryssel, Euroopan Komissio, 9.1.2019. [viitattu 21.02.2020] Saatavuus: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0001&from=EN>.
- [91] Maine.goc. Historical Kerosene Prices. Governor's Energy Office, internetkotisivut. [viitattu 20.02.2020] Saatavuus: https://www.maine.gov/energy/fuel_prices/historical-kerosene-prices.shtml.

- [92] Investing.com. Kerosine Futures Overview. Investing.com, 19.02.2020. [viitattu 20.02.2020] Saatavuus: <https://www.investing.com/commodities/tocom-kerosene-futures>
- [93] GlobalPetrolPrices.com. Belgium Kerosene prices, 16.3.2020 [viitattu 17.3.2020] Saatavissa: https://www.globalpetrolprices.com/Belgium/kerosene_prices/.
- [94] Neste. Neste MY uusiutuva lentopolttoaine tarjoaa ilmailualalle kestävän ratkaisun. Neste [viitattu 12.3.2020] Saatavissa: <https://www.neste.com/fi/puhtaammat-ratkaisut/tuotteet/uusiutuvat-polttoaineet/neste-my-uusiutuva-lentopolttoaine>.
- [95] Sieppi, S. Nesteen uusiutuvaa lentopolttoainetta saatavilla Zurichin lentoasemalta maailman talousfoorumin 2020 aikana. Neste, 20.01.2020. [viitattu 12.3.2020] Saatavissa: <https://news.cision.com/fi/neste/r/nesteen-uusiutuvaa-lentopolttoainetta-saatavilla-zurichin-lentoasemalta-maailman-talousfoorumin-2020,c3010892>.
- [96] Lentoposti. Finnair ja Neste pienentävät yhteistyössä lentoliikenteen päästöjä - kohti hiilineutraaliutta. Lentoposti, 05.03.2020. [viitattu 12.3.2020] Saatavissa: http://www.lentoposti.fi/uutiset/finnair_ja_neste_pienent_v_t_yhteisty_ss_lentoliikenteen_p_st_j_kohti_hiilineutraaliutta.
- [97] Ympäristöministeriö. Suomi kiirehtii EU:n päästövähennystavoitteen kiristämistä yhdessä 11 EU-maan kanssa [tiedote]. Ympäristöministeriö. verkkosivut. 3.3.2020. [viitattu 13.3.2020] Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Suomi_kiirehtii_EUn_paastovahennystavoit\(55316\)](https://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Suomi_kiirehtii_EUn_paastovahennystavoit(55316)).
- [98] Airlines.Net. Fuel Consumption table [forum]. Airlines.net, Aviation Forums Technical Operations. [viitattu 23.3.2020] Saatavissa: <https://www.airliners.net/forum/viewtopic.php?t=1355819>.
- [99] Link & Learn. *EASA Part 66- Training handbook - M15 turbine engines*. Aviation training GMBH, pdf.
- [100] Lentoliikennemaksut ja yleiset palvelumaksut 1.1.2020 alkaen. Finavia. Internet, Finavia. [viitattu 24.02.2020]. Saatavissa: https://www.finavia.fi/sites/default/files/documents/Finavia_Palveluehdot_1-1-2020.pdf?navref=paragraph.
- [101] Savantum oy laskutettavat liittymät. Savantum oy. Internet, Savantum oy. [viitattu 24.2.2020] Saatavissa: <http://www.savantum.com/hinnasto/liittymat/laskutettavat-liittymaet>.
- [102] Vartiolentolaivue, Gannet- huollonhallintajärjestelmä. Varaosatilastot, huolto-ohjelma, huoltotilastot [viitattu 17.3.2020] Saatavissa: vartiolentolaivue.

- [103] P&WC. PW100-fleet P&WCSMART. Pratt & Whitney Canada, verkkosivut. [viitattu 11.3.2020] Saatavissa: <https://www.pwc.ca/en/products-and-services/services/maintenance-programs-and-solutions/pwcsmart-maintenance-solutions/pwcsmart-pw100>.
- [104] Alford, L. *The Problem with Aviation COTS*. IEE AES Systems Magazine (2001). sivunumerot 33-37. [viitattu 12.3.2020] Saatavissa: <https://ieeexplore-ieee-org.mp-envoy.csc.fi/document/904242>.
- [105] Finmeccanica. *Master Minimum Equipment List*. Finmeccanica S.p.a. Issue 16-12-2015 Rev A. s.27.
- [106] Rajan Helsinki-Vantaan helikopteritukikohta sai rakennusluvan - korvaa Malmin. Lentoposti, internetsivut, 2015. Päivitetty 7.7.2015. [viitattu 27.2.2020] Saatavissa: http://www.lentoposti.fi/uutiset/rajan_helsinki_vantaan_helikopteritukikohta_sai_rakennusluvan_korvaa_malmin.
- [107] Cousineau, M. Making sense of maintenance metrics: MTBF. Internet, Fiix. Päivitetty 25.7.2019. [Viitattu 26.2.2020] Saatavissa: <https://www.fiixsoftware.com/blog/mean-time-between-fail/>.

LIITELUETTELO

Liite 1: Kustannusrakenne

Liite 2: RAM-Analyysimenetelmän hyödyntäminen elinjaksonhallinnassa - Laskentakaavat

Liite 3: Tutkimuksen aikana luodut Excel-kustannuslaskurit

KUSTANNUSRAKENNE

KONSEPTI & MÄÄRITTELY:

- HENKILÖSTÖKULUT
- KOULUTUSKUSTANNUKSET
- MUUT

HANKINTA:

- HENKILÖSTÖKULUT
- Lentokonerunkojen hankintahinta
- Valvontajärjestelmän hankintahinta
- Huoltojärjestelmän perustaminen
- muut hankintakulut (vaihtoehtojen vertaaminen, tuotannon seuranta ja testaaminen)
- KOULUTUSKUSTANNUKSET
- MUUT (Huoltojärjestelmän perustaminen)

KÄYTTÖ- JA TUKIVAIHE:

- OPEROINTI
 - HENKILÖSTÖKULUT (ohjaajat, miehistö, muut)
 - OPEROINTI (polttoaine)
 - OPEROINNIN TUKI (lentoaikkamaksut, johtamisjärjestelmät)
 - KOULUTUSKUSTANNUKSET (ohjaajat, simulaattorit)
- TUKI
 - HENKILÖSTÖKULUT (mekaanikot, suunnittelu)
 - HUOLTO (varaosat, laitteet, sopimukset)
 - HUOLLON TUKI (tilat, työkalut, varasto)
 - KOULUTUSKUSTANNUKSET (huoltohenkilöstö)

ELINJAKSOPÄIVITYKSET MLU

- HENKILÖSTÖKULUT
- HANKINTAHINTA
- MUUT (hankekustannukset,...)

PURKAMINEN:

- MYYNTI
- POISTOKUSTANNUKSET

RAM- ANALYYSIMENETELMÄN HYÖDYNTÄMINEN ELINJAKSON- HALLINNASSA - LASKENTAKAAVAT

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan vikataajuutta ja korjaustaajuutta keskimääräisiksi ajoiksi eli jakaumien odotetaan olevan eksponenttialisia. Oletamus eksponenttialisestajakaumasta on hyväksyttävää matemaattisessa RAM tarkastelussa. [18]

Luotettavuus

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{L2.1}) [39]$$

missä:

$R(t)$ luotettavuus ajanhetkellä t

λ vikatiheys tai vikataajuus

t tarkastelu aika

Kun oletetaan, että vikaantuminen on jatkuvaa ja noudattaa eksponenttialistajakaumaa, voidaan luotettavuutta laskea kaavan L3.1 avulla. Kaavan avulla voidaan laskea, millä todennäköisyydellä laite on kunnossa valitulla ajanhetkellä. Luotettavuus heikkenee, kun laitetta käytetään pitkiä aikoja tai jos vikaantuminen on yleistä. [18]

Vikataajuus (λ = failure rate) kuvastaa laitteen toimintavarmuutta. Kaavan L3.2 mukaisesti vikataajuus lasketaan vikojen määrän suhteen tarkastelujaksoon [18]. Eli jos laite vikaantuu 2 kertaa 200 tunnin aikana on vikataajuus 0,02 (2/200). Mikäli laite vikaantuu 10 kertaa vuoden aikana, voidaan vikaantuminen esittää näin 0,027 (10/356). Mikäli vikataajuus on pieni, on laite luotettavampi. Vikataajuus ja keskimääräinen vikaväli ovat verrattavissa toisiinsa (kaava L3.2).

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} = \frac{r}{T(t)} \Leftrightarrow MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{T(t)}{r} \quad (\text{L2.2}) [18]$$

missä:

λ vikatiheys tai vikataajuus

$MTTF$ Mean time to failure - keskimääräinen vikaväli

$T(t)$ tarkastelujakson aika

r vikoja tarkastelujaksolla

Vikaantumisia kuvaavia termejä on kolme MTBF, MTTR ja MTDD. MTBF (mean time between failure) arvoa käytetään, kun tarkastellaan korjattavan järjestelmän aikoja, jolloin toiminta katkeaa ja lähtötilanne on ollut vikaantuminen. Keskimääräistä vikaväliä, MTTF (mean time to failure), voidaan käyttää yksittäin, mikäli tarkastellaan laitetta, joka käyntiaika alkaa operoinnin alkaessa ja loppuu kun laite vikaantuu. Keskimääräistä vikahavaintoa MTDD (mean

time to defect) voidaan käyttää, kun seurataan yksittäisiä samankaltaisia havaintoja, mikä johtaa lopulta vikaantumiseen. [39]

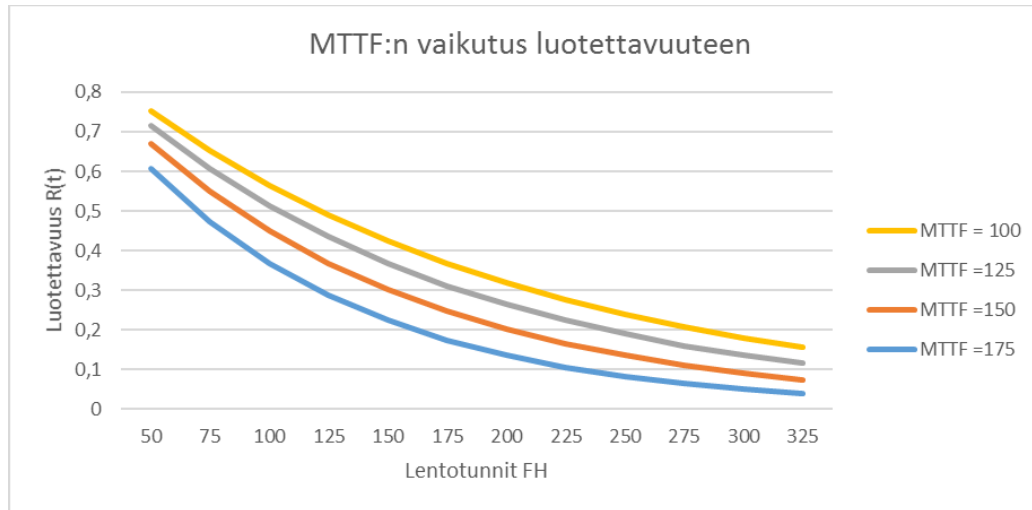


Kuva 1: MTBF, MTTF ja MTTR tässä tutkimuksessa, muokattu lähteestä [45]

MTTF ja MTBF termejä tutkittaessa, on tärkeä lukea lähde kokonaisuudessaan. Toisissa lähteissä käytetään MTBF ja toisissa MTTF riippuen tutkitaanko laitteen ensimmäisiä vikaantumisia vai korjattavia laitteita tutkitaanko tunteja vai muuta aikaa. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan vikaantumista lentotuntien perusteella, mutta käytettävyyttä tarkastellaan päivissä. Tämän takia Kuva 1: osoittaa tässä tutkimuksessa käytettävien termien paikan. Huomion arvoista on, ettei lentotunnit kerry huoltoaikana, jolloin MTBF ja MTTF ovat lentotunneissa samat, mutta kalenteriaika etenee myös huollossa aikana. Tutkimuksen huollettavuus luvussa MTTR termi ja MDT kuvaavat samaa aikaa ja kuvaavat siten tarvittavaa aikaa vikaantumisesta laitteen toimintakuntoon saattamiseen.

Vikaantumisen todennäköisyys $F(t)$ voidaan laskea vähentämällä 100 % luotettavuuden todennäköisyys $F(t) = 1 - R(t)$. Arvo kuvaa vikaantuuko laite ajanhetkellä t tai milloin vikaantuminen on 75 % todennäköisyydellä varmaa. Mikäli laite toimii 10 tunnin käytön jälkeen 75 % todennäköisyydellä, on se 25 % todennäköisyydellä vikaantunut. [39]

Esimerkki (Kuva 2): vikaantuminen on eksponentiaalisesti jakautunutta ja säännöllistä ja tapahtuu 100, 125, 150 ja 175 tunnin välien (MTTF). Kuvaajat esittävät kuinka todennäköisyys laitteen toiminnalle pienenee, kun lentotunteja kertyy enemmän. Do228 keskimääräinen vikaantumisaika (MTTF) on tilastojen mukaan noin 140 lentotuntia. Taulukko osoittaa, että 50 % luotettavuudella, pystymme lentämään noin 100 tuntia vikaantumatta. Mikäli operaatioon on varattu 75 lentotunnin lentoaika pystytään juuri korjatulla lentokoneella operaatio toteuttamaan lähes 60 % luotettavuudella.

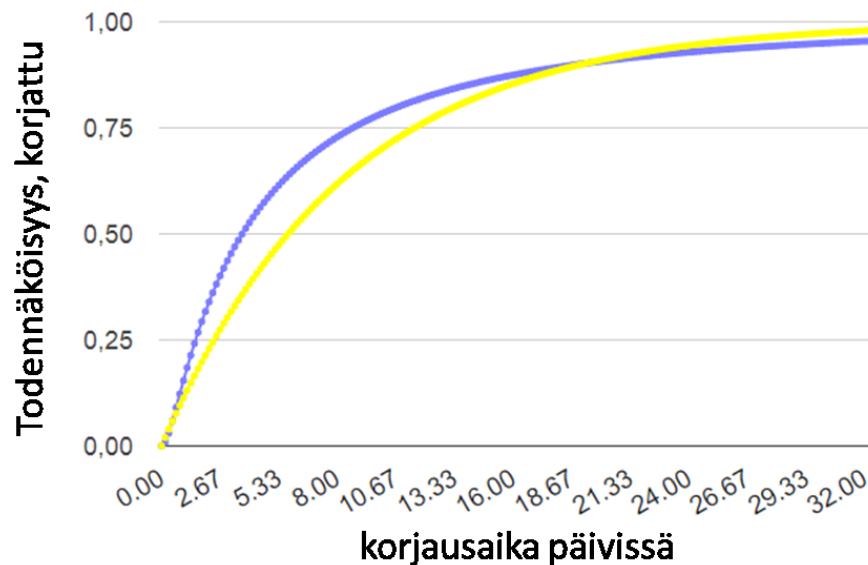


Kuva 2: MTTF:n vaikutus luotettavuuteen

Huollettavuus

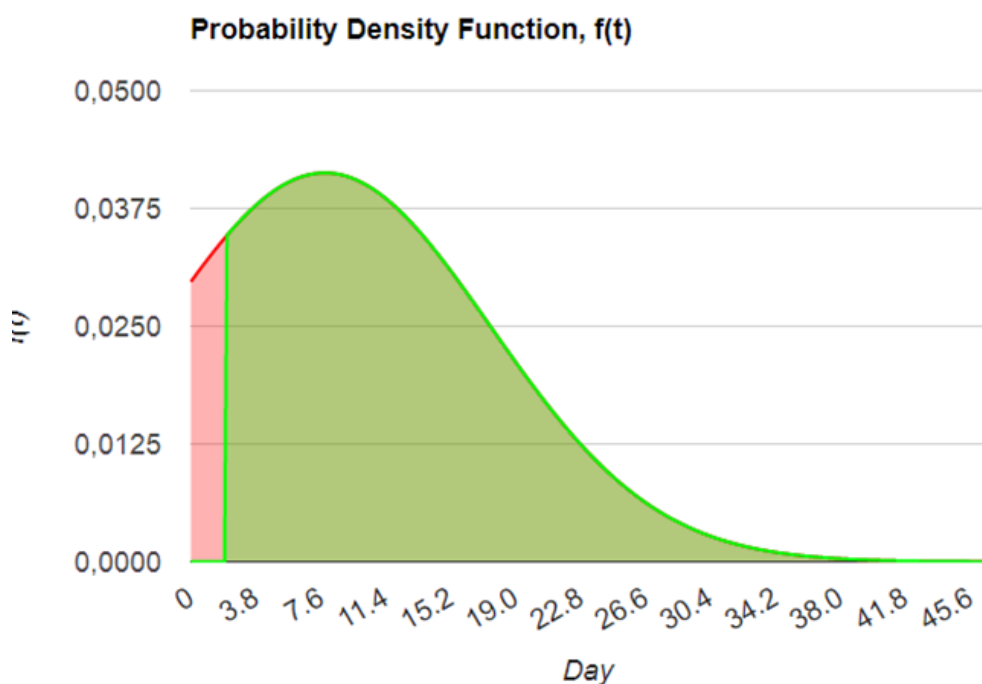
Huollettavuuslaskentaa voi toteuttaa olettamalla korjausaikojen olevan log-normaalijakautuneita, normaalijakautuneita, tai eksponentiaalisesti jakautuneita. Erona näiden laskentatapojen välillä on oletamus huoltotaajuuden käsitteestä ”myy”. Kun viat ovat erilaisia ja niiden korjausajoilla on suurta vaihtelua, käytetään log-normaali- tai normaalijakaumaa. Mikäli korjaustaajuuden oletetaan olevan vakio, käytetään eksponenttialistajakaumaa, kuten myöhemmässä vaiheessa tätä tutkimusta. [43] Log-normaalijakauma on kuitenkin yleisin vikakorjausaikaa kuvaava funktio ja mahdollisuuksien mukaan sitä tulisi hyödyntää jakauman olettamuksena [39].

Seuraavat huollettavuus kuvaajat (Kuva 3: ja Kuva 4:) on tuotettu Morris Seymorin verkkolasurilla. Laskuri palauttaa log-normaalijakauman ja normaalijakauman todennäköisyysfunktioit kirjattujen korjausaikojen perusteella [43]. Ensimmäinen laskuri olettaa korjausaikojen olevan log-normaalijakautuneita. Laskuriin vietiin viimeisen kolmen vuoden pysäyttävät viat, joiden korjausaika vaihteli 1-33 päivän välillä ja korjauksia oli 24 kappaletta. Laskuri laski MTTR ajaksi 8,3 päivää ja korjaustaajuus vaihteli 0,06-0,2 välillä. Keltainen kuvaaja kuvaa eksponentiaalisen korjausajan kuvaajaa korjaustaajuuden ollessa vakio 0,12 (MTTR=8,3). Kuvaajasta voimme lukea, että puolet korjauksista ehditään tekemään alle 4 päivän aikana ja 15 % pysäyttävistä vioista pystytään korjaamaan saman päivän aikana (sininen käyrä). Eksponentiaalinen käyrä (keltainen) osoittaa että puolet korjauksista tehdään 6 päivän aikana ja päivässä korjataan 11 % pysäyttävistä vioista.



Kuva 3: Log-normaalin ja eksponentiaalisen mallin korjausajan kuvaajat [43]

Huollettavuus voidaan saman tilaston perusteella laskea Morrisin normaalijakauma laskurilla. Laskuri palauttaa korjauksesta lasketun keskiarvon ja sen keskihajonnan perusteella. Kun laskuriin viedään keskimääräinen keskikorjausaika 7,8 päivää ja keskihajonta 9,6 päivää saadaan Kuva 4: kaltainen kuvaaja. Mikäli tarkasteltaisi todennäköisyyttä, että vika korjataan päivässä olisi tulos 24 % ja keskiarvon mukaisesti puolet vioista korjattaisiin kahdeksan päivän aikana. Korjaustaajuus vaihtelisi 0,03 ja 0,4 välillä. Kuva 4: on esitetty kahdenpäivän korjausaika, jolloin 27 % vioista on korjattu (punainen alue). [43]



Kuva 4: Normaalijakauman korjausajan todennäköisyys 2 päivän korjaukselle [43]

Huollettavuutta tarkasteltaessa, on kiinnostava tietää, mikä on maksimi korjausaika eli mihin pitää pystyä varautumaan. Maksimi korjausaika saadaan tarkastamalla 95 % todennäköisyys kun laite on korjattu. [43] Siten edellä kuvatuista esimerkeistä saadaan log-normaalijakaumalle $\text{Max}_{95\%} = 30$ päivää, eksponentiaaliselle jakaumalle $\text{Max}_{95\%} = 25$ päivää ja normaalijakautuneille $\text{Max}_{95\%} = 24$ päivää. Arvoista voimme havaita samansuuntaisuuden, mutta samalla niiden vaihtelun. Log-normaalijakautuneessa kuvaaja on voimakkaasti vino, jolloin korjausaika alussa on nopeampaa (korjaustaajuus suurempi) ja sitten ikään kuin korjausvoima heikkenee vian pitkittyessä. Vastaavasti normaalijakautuneessa kaavio on sidottu vahvasti keskihajonnan ja keskikorjausajan kuvaajaan, jolloin korjaustaajuus on parhaimmillaan, kun annetaan korjausaikaa lähelle normaalia.

Vaikka log-normaalijakauman käyttö antaisi huollettavuudesta parhaimmat arviot, on arviointia hyväksytty tehtäväksi myös pelkästään eksponentiaalisen mallin avulla. Tämä johtuu siitä, että malli on matemaattisesti helpompi ja antaa riittävän luotettavan kuvan korjausajan kehityksestä. [39] Kuvaajien yhtäläisyyden voi myös havaita Kuva 3:. Kaava L3.3 osoittaa siis todennäköisyyden onko laite korjattu valitulla ajanhetkellä. Kaavan perusteella voimme todeta, että vika on korjattu paremmalla todennäköisyydellä, kun aikaa kuluu enemmän tai jos korjaustaajuutta pystytään kasvattamaan, eli keskimääräistä korjausaikaa lyhentämään.

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}} \quad (\text{L2.3}) [39]$$

missä:

$M(t)$ todennäköisyys, että laite on korjattu ajanhetkellä t

μ korjaustaajuus - repair rate

Huollettavuutta laskettaessa, tarvitaan pohjatietoa toteutuneista huolloista. Mitä tarkempi tilasto vikakorjauksista on käytettävissä, sen tarkempana laskelmaa voidaan pitää. Kaavan L3.4, mukaan keskimääräinen korjausaika, MTTR, saadaan laskemalla käytetty korjausaika vikojen määrällä. Jos vuoden aikana vikoja on korjattu yhteensä 12 päivää ja vikoja on ollut 3 voidaan laskea keskimääräisen korjausajan olleen 4 päivää/vika. [43] Korjaustaajuus saadaan keskimääräisen korjausajan (MTTR) käänteisarvosta, kuten kaavassa 4.5 [39]. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, jos keskimääräinen korjausaika on 10 päivää, korjataan päivittäin 1/10 vikaa ja näin korjaustaajuus on 0,1. Mikäli korjausaika on vain 5 päivää, ollaan puolet nopeampia ja korjaustaajuus on 0,2.

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{r}{T(t)} \Leftrightarrow MTTR = \frac{1}{\mu} = \frac{T(t)}{r} \quad (L2.4) [39]$$

missä:

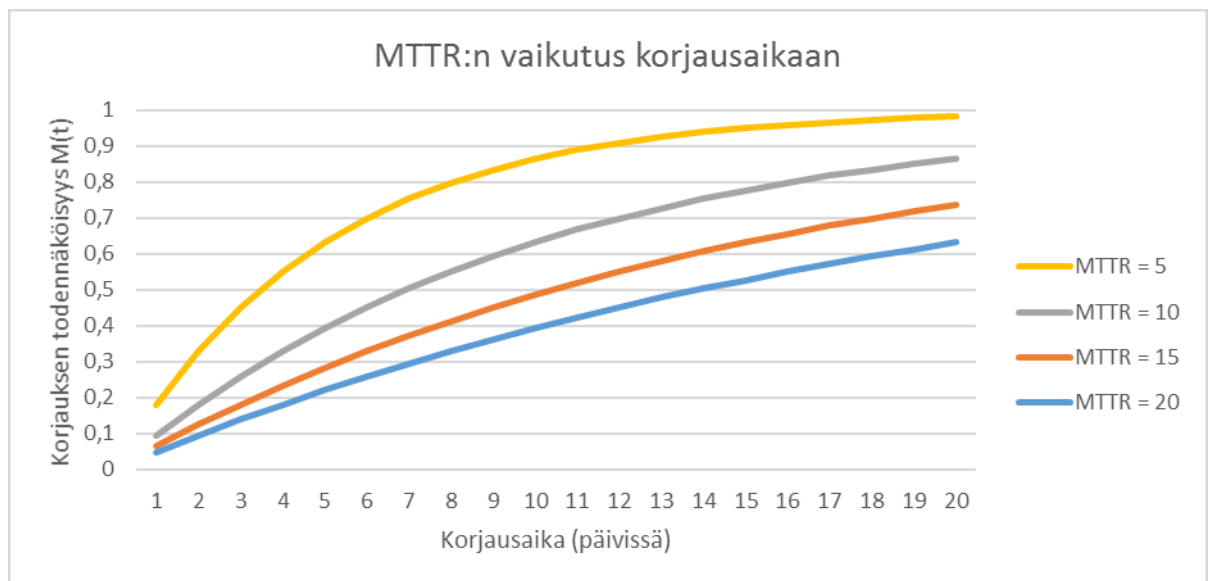
μ korjaustaajuus - repair rate

$MTTR$ Mean time to repair - keskimääräinen korjausaika

r korjaustenmäärä

$T(t)$ korjauksiin käytetty aika

Kuva 5: on esitetty eksponenttialisen jakauman muodostamat todennäköisyys kuvaajat, kun keskimääräistä korjausaikaa muutetaan. Kuvasta voimme todentaa huollettavuuden paranevan, kun keskimääräinen korjausaika MTTR on mahdollisimman pieni.



Kuva 5: MTTR:n vaikutus korjausajan todennäköisyyteen

Käytettävyys

$$A = \frac{uptime}{total\ time} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (L2.5) [39]$$

missä:

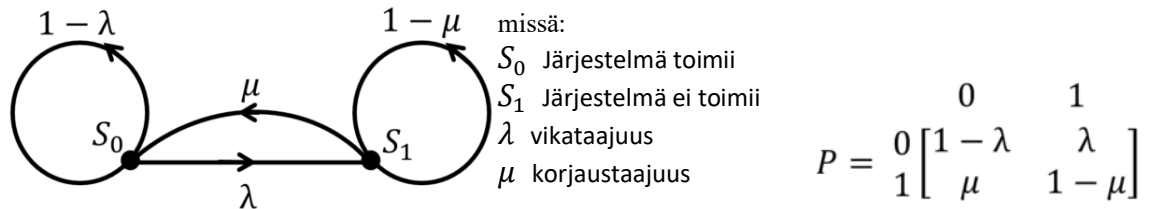
A Availability - käytettävyys

$MTTF$ Mean time to failure - keskimääräinen vikaantumisaika (aika käytössä ennen vikaa)

$MTTR$ Mean time to repair - keskimääräinen korjausaika

Kaava L3.5 osoittaa tutkimuksessa käytettävät termit ja käytettävyyden laskutavan. Kaavan voisi kirjoittaa muotoon $MTBF/(MTBF+MTTR)$, jos katsotaan MTBF ja MTTF, tarkoittavan samaa keskimääräistä vikaantumisaikaa [39]. Tutkimuksessa oletetaan korjaus ja huoltotoiminnan palauttavan laitteen aina uutta vastaavaan tilaan, jolloin seuraava vikaantuminen noudattaa myös MTTF:n mukaista keskimääräistä vikaväliä. Tässä tutkimuksessa MTBF kuvaa siis enemminkin kokonaisaikaa vikojen välillä sisältäen käyttö sekä huolto- ja korjausajan.

Käytettävyyttä voidaan arvioida myös Markovin ketjun mukaan. Markovin ketjussa järjestelmän tila muuttuu ennalta annettujen todennäköisyyksien mukaisesti. Kun tarkastellaan käytettävyyttä Markovin ketjun mukaisesti, joudumme oletamaan seuraavaa: vikaantumistaajuus ja korjaustaajuus ovat vakiot, eli vikaantuminen ja korjausajat noudattavat eksponenttialistaja-kaumaa. Vikataajuuden ja korjaustaajuuden avulla voimme muodostaa yksittäiselle järjestelmälle seuraavan Markovin ketjun (Kuva 6:). [39]

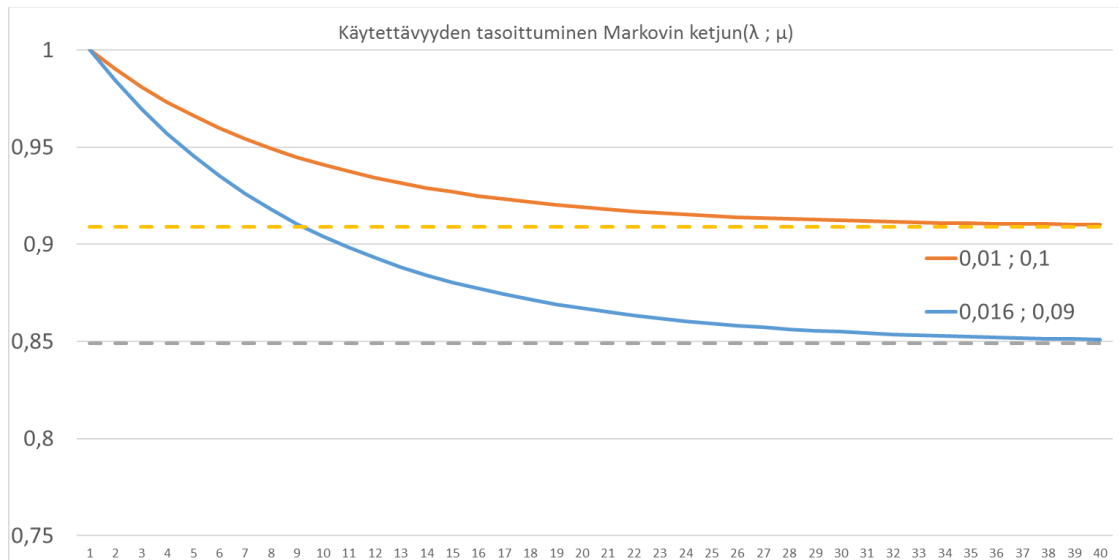


Kuva 6: Markovin ketju ja sen siirtymätodennäköisyydet [39].

Muodostetusta ketjusta voidaan päätellä laitteen tiloille liikkumismahdollisuudet. Mikäli laite on tilassa S_0 "kunnossa" on sillä mahdollisuus jäädä paikoilleen todennäköisyydelle $1-\lambda$ tai siirtyä tilaan S_1 todennäköisyydellä λ . Tilassa S_1 laitteella on mahdollisuus siirtyä tilaan S_0 todennäköisyydellä μ tai jäädä tilaan S_1 todennäköisyydellä $1-\mu$. Kun tiedetään vikataajuus ja korjaustaajuus voidaan siirtymille antaa todennäköisyydet. [39]

Kaavassa L3.6 käytetään Do228 viimeisen kolmen vuoden vikatilastoa ja saadaan vikataajuudeksi 0,016 ja korjaustaajuudeksi 0,09. Tarkastelussa ei oteta huomioon ennaltaehkäisevää huoltoa. Kuva 7: esitetään P_1 ja vertailun vuoksi todennäköisyys P_2 tasoittuminen Markovin ketjun periaatteella osoittamaan saavutettua käytettävyyttä. P_2 todennäköisyydet saadaan vikataajuuden 0,01 ja korjaustaajuuden 0,1 arvoilla kaavassa 4.7. [39] Mikäli järjestelmän korjaustaajuus pystyttäisi nostamaan 0,1 ja vikataajuus laskemaan 0,01, nousisi käytettävyys noin 85 prosentista noin 91 prosenttiin. Edellä kuvatut muutokset voisivat nostaa kustannuksia merkittävästi.

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0,984 & 0,016 \\ 0,09 & 0,91 \end{bmatrix}, P_2 = \begin{bmatrix} 0,99 & 0,01 \\ 0,1 & 0,9 \end{bmatrix} \quad (L2.6)$$



Kuva 7: Käytettävyyden tasoittuminen Markovin ketjun avulla.

Käytettävyys voidaan laskea myös suoraan jakamalla korjaustaajuus, korjaustaajuuden ja vikataajuuden summalla (Kaava L3.7). Tällöin käytettävyydestä puhutaan termillä A_S (vakaan tilan käytettävyys, steady state availablity). [39] Sama saadaan käyttämällä keskimääräistä vikaväliä ja keskimääräistä korjausaikaa, mikä tarkoittaa tässä yhteydessä koko vikakorjausaikaa, kuten kaavassa L3.7. [18]

$$A_S = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{\frac{1}{MTTR}}{\frac{1}{MTTR} + \frac{1}{MTTF}} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (L2.7) [18]$$

Käytettävyyttä voidaan laskea usean järjestelmän sarjana, jolloin irrallisten järjestelmien käytettävyyden kerrotaan keskenään. Tai rinnakkaisten järjestelmien käytettävyyttä kääntäen verraten. Kun vikaantuminen ja huoltotoiminta seuraavat toisiaan voidaan käytettävyys laskea kaavan L3.8 avulla. [18]

$$A = A_h * A_v = \frac{A_{huoltoväli}}{A_{huoltoväli} + A_{huolto aika}} * \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (L2.8) [18]$$

Esimerkki: Jos tiedämme, että lentokonetta huolletaan keskimäärin kuuden kuukauden välein ja huolto kestää keskimäärin 25 päivää. Samalla valmistaja ilmoittaa järjestelmien keskimääräiseksi vikaväliksi kolme kuukautta ja vikakorjauksen ajaksi viisi päivää. Pystymme laskemaan käytettävyyden: $180 / (180 + 25) * (90 - 5) / (90) = 0,813 = 81,3 \%$ Käänteisesti ajatellen asetetun vaatimuksen voi myös ajatella korjaustoimintaa keventävänä vaatimuksena. Jos käytettävyys vaatimus olisi 0,75, voisi lentokonetta huoltaa keskimäärin 30 päivää ja vikakorjauksenkin olisi varattavissa 9 päivää ennen kuin käytettävyys laskisi vaaditun alapuolelle. [45]

TUTKIMUKSEN AIKANA LUODUT EXCEL-KUSTANNUSLASKURIT

LASKURI 1_Henkilöstökustannuslaskuri

LASKURI 2_Hankintavaiheen kustannuslaskuri

LASKURI 3_Käyttövaiheen kustannuslaskuri

LASKURI 4_Tukivaiheen kustannuslaskuri

LASKURI 5_Elinjaksokustannuslaskuri, perustuu puolustusvoimien elinjaksokustannuslaskuriin. [11] liite 3

LASKURI 6_LCC Summaus ja Conklin & deDecker vertailulaskuri

Lisäksi tutkimuksessa hyödynnettiin tutkijan aiemmin laatimaa huoltomallinnuslaskuria.

Edellä esitetyt laskurit ovat tutkijalla ja ne jaetaan työntilajalle sellaisenaan. Laskurit numeroidaan tässä vaiheessa ensimmäisiksi versioiksi. Myöhempää käyttöä varten laskureita tulee tarkentaa tai parannella tapauksiin liittyen. Osassa laskureita tutkija on käyttänyt käyttörajoitettua tietoa, jolloin pyydetessä tutkija siivoaa yksittäiset aineistot tapauksen yksilöinnin välttämiseksi.